



Escola Politècnica Superior
d'Enginyeria de Vilanova i la Geltrú

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA

PROJECTE FI DE CARRERA

TÍTOL: Generació d'Electricitat a través del Biogàs en el món rural

AUTOR: Agustí Cabanas Mas

TITULACIÓ: ETI Especialitat Electricitat

DIRECTOR: Eusebi Martínez Piera

DEPARTAMENT: Elèctric

DATA: Juny del 2012

RESUM (màxim 50 línies)

En el present projecte es fa un estudi de viabilitat de l'energia que es podria extreure d'una explotació porcina a partir dels seus residus ramaders, mitjançant l'obtenció de biogàs a partir de la digestió anaeròbica dels purins.

Per dur a terme tal estudi, es fa una descripció en termes generals del biogàs, la seva composició i el potencial que té pel seu aprofitament a nivell energètic, també es fa una descripció de les diferents etapes de fermentació que passen els residus dins el digestor i els paràmetres que afecten a la obtenció del biogàs, de les tècniques que s'utilitzen per extreure el biogàs dels residus de la granja, en aquest cas dels purins.

En el següent punt es farà una descripció de l'explotació, indicant l'activitat de la granja, la situació geogràfica, condicions climàtiques, sistemes d'emmagatzematge, residus generats i la seva composició, el número de caps de bestiar i de la disposició de les naus, així com de les fosses i dipòsits o basses de que disposa la granja.

A partir de diferents fonts, es faran les consideracions oportunes per determinar la quantitat de biogàs que se'n pot extreure pel volum de purins donats.

Seguidament es farà el càlcul i dimensionat de la planta de biogàs. Entre altres components, es determinarà la capacitat que haurà de tenir el bio digestor, el sistema de canalitzacions entre els diferents components, el sistema de combustió de torxa i el dimensionat que haurà de tenir el sistema de calefacció per mantenir certa temperatura dins del digestor. També es durà a terme l'estudi del tipus de microturbina necessària per la planta de biogàs i s'estimarà la seva potencia elèctrica i tèrmica a partir de les especificacions del fabricant.

A continuació, un estudi econòmic i energètic ens donarà la clau per conèixer el temps d'amortització de la planta en diferents situacions.

Es mostraran els resultats tenint en compte incentius econòmics (subvencions) i sense aquests. També es plantejaran vies alternatives per fer més rentable la planta, com seria la comercialització dels substrats resultants com a fertilitzants.

També s'indicarà com es troba avui en dia el camp de les ajudes econòmiques per part del govern en el context actual.

A la part final, un estudi d'impacte ambiental ens donarà la visió dels avantatges ambientals d'aquesta font d'energia renovable.

Tancarem l'estudi amb les conclusions que se'n poden extreure de l'aprofitament de purins en una explotació ramadera en la comarca d'Osona avui en dia.

Paraules clau (màxim 10):

cogeneració	biogàs	microturbina	Generació electricitat
Valorització purins	Estalvi emissions	digestor	rendiment
amortització	subvencions		

Índex

Índex	3
Glossari	6
1.0. Objectius	7
1.1. Introducció	7
1.2. El Biogàs	7
Concepte de biogàs	8
La composició del biogàs	8
Potencial del biogàs.....	9
Aprofitament del biogàs	10
Actualitat en el sector del biogàs.....	11
Ús energètic del biogàs: caldera o cogeneració.....	11
2.0. El procés de la digestió anaeròbia	12
2.1. Introducció a la digestió anaeròbia	12
2.2. Fases de la fermentació anaeròbia	13
a) Etapa 1: Hidròlisi (fase enzimàtica)	14
b) Etapa 2: Acidogènesi (fase biològica)	15
c) Etapa 3: Metagènesi (fase biològica)	15
2.3. Paràmetres que influeixen al procés de la digestió anaeròbia	16
pH.....	16
Temperatura.....	17
Temps de retenció (TR).....	17
Càrrega orgànica (FC)	18
Agitació.....	18
2.4. Classificació dels reactors en el procés de la digestió anaeròbia	18
Reactor de mescla completa	19
Reactor flux de pistó.....	19

Sistema d'homogeneïtzació o agitació	20
2.5. Avantatges del procés de digestió anaeròbia	21
3.0. Activitat de la granja	22
3.1. Descripció de l'activitat	22
Situació geogràfica	22
Condicions climatològiques.	24
Capacitat de la granja	25
3.2. Sistema d'emmagatzematge	25
3.3. Residus generats a la granja	26
Problemàtica medi ambiental dels purins	27
Composició dels purins.....	28
Gestió actual dels purins a la granja	28
3.3. Estimació del potencial de producció del biogàs	28
4.0. Disseny de la planta de producció de biogàs	29
4.1. Dimensionat del digestor	30
Dimensions del digestor	30
Coberta del digestor	31
Aïllament i xapa de protecció	31
Entrada de l'influent i sortida de l'efluent	32
Agitador.....	33
4.2. Sistema de canalització	33
Canalització del purí	34
Canalització del biogàs	35
4.3. Sistema de combustió entorxa	35
Descripció	36
Funcionament	37
4.4. Dimensionat sistema de calefacció	37
Bescanviador	39
4.5. Microturbina	39

Descripció	39
Dimensionament	42
4.6. Sistema d'extracció del biogàs	43
Tractament del biogàs previ a la combustió	44
5.0. Estudi energètic	45
Energia generada i potència de la instal·lació	45
Despeses energètiques de la instal·lació	46
Balanç energètic	46
6.0. Estudi econòmic de la planta	47
Pressupost de la instal·lació	47
6.1. Estalvi energètic	48
Estalvi d'emissions de gas efecte hivernacle	48
Subvencions i ajuts	49
Balanç econòmic	49
Mecanismes per fer viable la planta	52
Conclusió de l'estudi econòmic	53
7.0. Avaluació de l'impacte ambiental	53
8.0 Conclusions	56
ANNEX: plànols i esquemes	¡Error! Marcador no definido.
A.1 Plànol de la granja	¡Error! Marcador no definido.
A.2 Plànol planta biogàs	¡Error! Marcador no definido.
A.3 Plànol del digestor	¡Error! Marcador no definido.
A.4 Esquema de la sala cogeneració	¡Error! Marcador no definido.
B.1. Quantificació de biogàs	¡Error! Marcador no definido.
B.2. Corbes de les bombes	¡Error! Marcador no definido.
B.3. Tarifes elèctriques per al règim especial	¡Error! Marcador no definido.
C.1 Estudi preliminar de l'empresa Electrigaz	¡Error! Marcador no definido.
Bibliografia de consulta	58

Glossari

- _ TR : Temps de Retenció
- _ FC : Factor de Càrrega
- _ CSTR : Reactor de Mescla Completa
- _ PFR : Reactor de Flux de Pistó
- _ COV : Compost Orgànic Volàtil
- _ AGV : Àcids grassos Volàtils
- _ ACS : Aigua Calenta Sanitària
- _ TIR : Tasa Interna de Retorn
- _ ICAEN : Institut Català d'Energia
- _ IDAE : *Instituto para la diversificación y el Ahorro de la Energía*
- _ IVA : Impost sobre el valor afegit

Compostos químics

- _ CO₂ : Diòxid de Carboni
- _ H₂S : Àcid Sulfídric
- _ H₂: Hidrogen
- _ NH₃ : Amoníac
- _ N₂ : Nitrogen
- _ CO : Monòxid de Carboni
- _ O₂ : Oxigen
- _ CaCO₃ : Carbonat Càlcic
- _ CH₄ : Metà
- _ NO_x : Òxids de Nitrogen

1.0. Objectius

L'objectiu que ens hem marcat en aquest projecte és l'obtenció d'energia elèctrica a través del biogàs generat a partir dels purins d'una granja porcina. Aconseguint d'aquesta manera obtenir en el món rural, una font d'energia que alhora aportarà beneficis tant a nivell econòmic com ambiental. Alhora aconseguim eliminar els mals olors provinents d'aquest tipus de residus i millorar-ne la seva capacitat fertilitzant.

- Aconseguir una font d'energia elèctrica en el món rural.
- Millorar la capacitat fertilitzant del material en aquest cas dels purins dels animals.
- Eliminar els mals olors.
- Generar biogàs.
- Beneficis econòmics pel tractament dels purins i la adquisició de fertilitzants
- Beneficis ambientals a nivell de l'efecte hivernacle i protecció dels subsòls i d'aigua subterrània

1.1. Introducció

En el projecte que es presenta a continuació, veurem com a partir dels purins generats en una granja porcina, es possible extreure'n energia mitjançant l'ús de la tecnologia de que es disposa. Utilitzarem una microturbina de cogeneració, i així obtindrem per una banda energia elèctrica que podrà ser venuda a la xarxa, com energia tèrmica que aprofitarem per mantenir la temperatura del digestor, mitjançant un sistema de calefacció, i així tancar el cicle.

A partir de l'energia obtinguda a partir del biogàs, podrem cobrir les necessitats energètiques de la granja, tant a nivell tèrmic com elèctric, i reduir les emissions de gasos d'efecte hivernacle a l'atmosfera.

S'estudiarà la rendibilitat de la planta tenint en compte els incentius econòmics que es puguin donar avui en dia, i es proposarà altres sortides per fer més viable la instal·lació.

A la fi del projecte, podrem extreure'n les diferents conclusions a que ens ha conduït aquest estudi.

1.2. El Biogàs

En el següent apartat s'introdueix el concepte de biogàs, quina és la seva composició, el potencial que

suposa, i de quina forma se'n pot extreure energia.

Concepte de biogàs

El biogàs és un producte resultant de la fermentació de la matèria orgànica en condicions anaeròbiques (en absència d'oxigen).

Quan els residus orgànics inicien el procés químic de fermentació alliberen una gran quantitat de gasos que són coneguts com a biogàs. Amb tecnologies apropiades aquest gas es pot transformar en altres tipus d'energia, com calor, electricitat o energia mecànica. També es pot produir biogàs en plantes especials barrejant els residus orgànics amb aigua i dipositant-los en grans recipients tancats anomenats biodigestors.

El biogàs es converteix doncs en una font d'energia potencial i renovable, motiu pel qual és pot considerar un recurs important a tenir molt en compte.

El biogàs pot substituir a diferents fonts d'energia ja existents. Al següent diagrama (*Figura 1.3*) es mostra l'equivalència energètica amb algunes de les fonts d'energia que pot substituir:

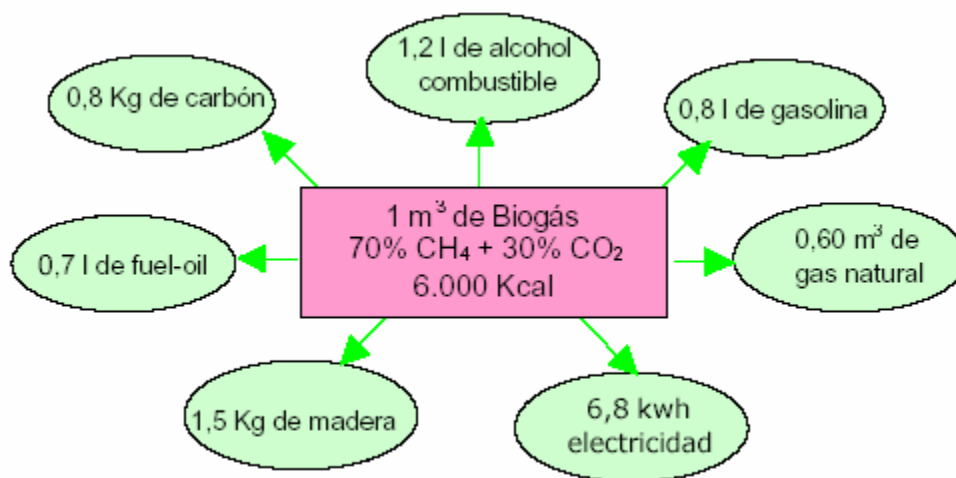


Figura 1.0. Equivalències energètiques

La composició del biogàs

El biogàs és una mescla gasosa combustible formada, principalment, per metà (CH₄) i diòxid de carboni (CO₂) i petites proporcions d'altres gasos com àcid sulfhídric (H₂S), hidrogen (H₂), amoníac (NH₃), nitrogen (N₂), monòxid de carboni (CO), i oxigen (O₂). Sovint està saturat de vapor d'aigua i pot contenir partícules de pols i siloxans (compostos de silici). S'obté mitjançant la digestió anaeròbia a partir de residus o subproductes orgànics, com ara purins que es el cas del present projecte, fems, fangs de

depuradores, residus d'escorxadors, residus sòlids urbans,...

A la taula següent (Taula 1.1) es pot veure unes dades estadístiques del biogàs generat a partir dels purins procedents de granges porcínes, que es el residu font en que ens basa el present projecte .

GAS	SÍMBOL	PERCENTATGE
Metà	CH ₄	55 - 80%
Diòxid de carboni	CO ₂	20 - 40%
Hidrogen	H ₂	0 - 10%
Oxigen	O ₂	0.1 - 1%
Nitrogen	N ₂	0.5 - 10%
Monòxid de carboni	CO	0 - 0.1%
Gasos diversos	H ₂ S; NH ₃ ; C _n -H _{2n}	1 - 5%
Vapor d'aigua	H ₂ O	Variable

Taula 1.1: Composició del biogàs. Font: Institut Català d'Energia

Com es pot observar són dades poc precises, ja que depenen fortament de molts factors, com per exemple, de la composició del material digerit, del tipus d'alimentació dels caps de bestiar, dels paràmetres que afecten al procés de la digestió, de la presència d'altres gasos diferents al metà...

A tall d'exemple es mostra a continuació algun dels problemes que poden donar la presència d'aquest gasos:

- Corrosió: l'H₂S ataca tant les conduccions d'acer com els materials que s'utilitzen habitualment en les instal·lacions de gas.
- Toxicitat: l'H₂S és un gas altament tòxic, amb una forta olor característica molt desagradable.
- Contaminació: els productes de la combustió de gas sense depurar contenen quantitats variables de SO₂ i SO₃, que afecten l'aire i l'aigua, amb la possibilitat de produir pluges àcides.

Així doncs, haurem de portar a terme un procés de filtrat del biogàs abans de cremar-ho a la caldera o al grup de cogeneració per evitar problemes. En el present projecte on utilitzarem una microturbina, els problemes de corrosió i contaminació són menors que en el cas d'utilitzar un motor, però durem a terme el procés de filtrat igualment.

Potencial del biogàs

El biogàs és combustible i es pot utilitzar com a font d'energia cremant-lo directament en calderes, per

generar vapor o aigua calenta, o en motors de cogeneració o microturbines de cogeneració per produir electricitat. També pot utilitzar-ne mesclat amb altres gasos combustibles com el gas natural.

El biogàs el podem cremar directament en calderes. L'energia tèrmica obtinguda té moltes aplicacions i pot ser utilitzada tant a la planta de tractament com per produir vapor d'aigua útil pel procés industrial. Les calderes no necessiten un gas d'alta qualitat però és preferible eliminar l' H_2S perquè forma àcid sulfurós (H_2SO_3) en el condensat, i aquest és altament corrosiu. També és recomanat condensar el vapor d'aigua contingut en el gas sense refinar, ja que pot causar problemes en les sortides de gas. El fet de treure l'aigua del gas original també eliminarà gran part d' H_2S .

També podem emprar el biogàs en motors de cogeneració o microturbines, que combinen l'energia tèrmica i elèctrica. Els motors de combustió de gas tenen els mateixos requeriments de qualitat que les calderes, excepte pel cas del H_2S , que hauria de ser-hi present en menor proporció. En els motors de combustió de biogàs, les emissions de NO_x (Òxids de Nitrogen) solen ser baixes a causa del contingut de CO_2 del gas. La concentració de CO emesa és sovint un problema des del punt de vista ambiental, és menor que l'emissió de NO_x perquè s'oxida ràpidament a CO_2 . Un dels paràmetres principals per cremar el biogàs a un motor és la relació teòrica estequiomètrica (relació de la mescla :aire i biogàs), encara que, normalment es fa servir un valor extret empíricament en el banc d'assaigs del motor.

Les unitats de cogeneració, ja siguin motors o microturbines, són una bona via per produir eficientment electricitat i energia tèrmica per la planta de digestió anaeròbia. Per exemple, podem aprofitar el calor residual del equip de cogeneració per l'escalfament del digestor. L'electricitat sobrant pot ser venuda a la xarxa elèctrica general.

Aprofitament del biogàs

El biogàs es pot aprofitar de diverses maneres com ja hem comentat, amb l'objectiu de generar:

1. Energia tèrmica (calor).
2. Energia tèrmica i elèctrica mitjançant la tecnologia de cogeneració.

La primera opció és la més senzilla i econòmica, i consisteix en cremar-lo directament, per exemple, en una caldera de calefacció o en uns fogons de cuina, en funció de les necessitats o requisits de cada indret.

Però si es produeix en prou quantitat, es pot cremar en turbines o en motors de cogeneració que permeten produir electricitat i obtenir, alhora, aigua calenta. Aquesta aigua es pot utilitzar per a cobrir necessitats de calefacció de la instal·lació, tant del propi digestor com de les naus de producció, etc. I

l'electricitat, tant es pot fer servir per al consum propi com vendre-la a la xarxa, obtenint una font externa addicional d'ingressos. Com que la cogeneració només és rendible quan les produccions són prou elevades, si l'objectiu principal és produir electricitat, és convenient realitzar la digestió anaeròbia en condicions òptimes per maximitzar la producció de biogàs en motor de cogeneració, generant electricitat i calor.

Actualitat en el sector del biogàs

El biogàs provenint de residus ramaders és, actualment un sector poc desenvolupat a Espanya en comparació a altres països europeus, com per exemple Alemanya. La raó principal incideix en la quantia dels incentius que s'ofereixen, i en conseqüència en la viabilitat de les plantes. A Espanya fins ara el kWh provenint de biogàs s'ha pagat a molt baix preu.

Una alternativa a la producció de biogàs consisteix en el assecat dels purins, per a la generació de fertilitzant, a partir de grups cogeneradors de gas natural. Els avantatges d'aquesta alternativa són els següents:

- En lloc de desaprofitar el potencial dels purins els hi fan tractaments evitant així la contaminació dels sòls i usant-los com a fertilitzant.
- Es produeix energia elèctrica a partir del grup cogenerador i, a més, s'aprofita la calor generada per assecar els purins. Les eficiències són molt altes, del voltant del 90%.

Per altra banda, el biogàs que es genera a partir dels llots de depuradora ha tingut un grau de desenvolupament més alt, degut, principalment a la quantitat major de matèria prima disponible i fàcilment localitzable.

Ús energètic del biogàs: caldera o cogeneració

Quan tan sols es desitgi cobrir demandes d'energia tèrmica (per exemple, calefacció de les naus de parts i primera edat en una granja de porcs) serà adient l'ús d'una caldera de gas. El rendiment d'una caldera pot estar entorn del 90%. El cremador s'haurà de modificar lleugerament per tenir en compte que el biogàs conté una part apreciable de CO₂, aconseguint menys velocitat de sortida del gas i assegurant que la flama no es desenganxi de la tovera del cremador

Si es desitja cobrir demandes d'energia elèctrica i tèrmica, cal utilitzar un equip de cogeneració. En aquests equips, el gas es crema en un motor de combustió interna que acciona un alternador, produint energia elèctrica. Del circuit de refrigeració de l'equip i dels fums d'escapament es recupera energia tèrmica en forma d'aigua calenta o vapor. El rendiment elèctric pot estar comprès entre el 30 i el 40% depenent de

l'equip, i el rendiment global (elèctric més tèrmic) pot arribar fins al 85%. També hi ha l'opció de utilitzar una microturbina en que ens pot donar uns rendiment elèctric d'un 30% i tèrmic de un 50%.

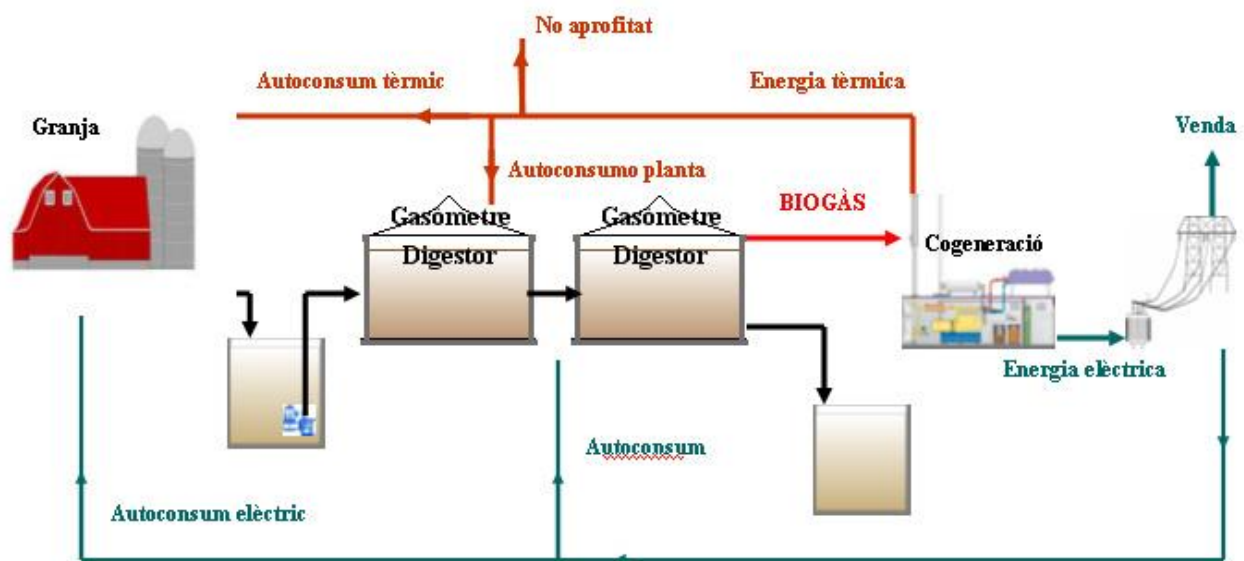


Figura 1.2: Esquema d'una planta de biogàs amb aprofitament d'energies a nivell rural.

2.0. El procés de la digestió anaeròbia

En aquest apartat s'introdueix el procés biològic de la digestió anaeròbia, que en definitiva es el procés clau per la producció de biogàs. Primerament es fa un estudi de tots els paràmetres que hi intervenen, els quals s'han de controlar per tenir un bon rendiment de la planta. També es dona una classificació dels principals tipus de reactors(digestors), així com dels sistemes d'homogeneïtzació i s'estudien els més importants per el sector de la ramaderia, que es el que pertany l'estudi d'aquest projecte.

2.1. Introducció a la digestió anaeròbia

La digestió anaeròbia és un procés biològic de fermentació, que es dona en absència d'oxigen, i consisteix en la degradació de la matèria orgànica per part d'un conjunt de microorganismes que la transformen en una mescla combustible de gasos (biogàs), formada principalment per metà i diòxid de carboni, a més d'altres components com l'àcid sulfhídric (H_2S), hidrogen (H_2), amoníac (NH_3), nitrogen (N_2), monòxid de carboni (CO) i oxigen (O_2). L'objectiu de la digestió anaeròbia serà la producció de biogàs amb un bon contingut de metà que podrem utilitzar després com a font d'energia. Quan més elevat sigui el percentatge de metà en el biogàs, millor rendiment n' obtindrem.

Mitjançant el procés de digestió anaeròbia es poden tractar un gran número de residus:

- Residus agrícoles i ramaders
- Cultius energètics.
- Residus industrials orgànics.
- Aigües residuals municipals i industrials.
- Fracció orgànica de residus sòlids urbans.

La digestió anaeròbia, també coneguda com bio-metanització o producció de biogàs, és un procés biològic que té lloc de forma natural en el medi ambient, per exemple, al fons de les llacunes i dels aiguamolls, als camps d'arròs i en el sistema digestiu dels rumiants. Parlem de digestió atès que, tal com passa a l'estómac dels animals, els materials orgànics (o aliments) es degraden i se n'obté un residu orgànic i energia.

La tecnologia de la digestió anaeròbia, doncs, es basa en imitar la natura i reproduir aquest procés en digestors a escala industrial .

Aquesta digestió és anaeròbia perquè només té lloc quan no hi ha oxigen (condicions anaeròbies). Si hi hagués oxigen (condicions aeròbies) tindria lloc un procés biològic de tipus aerobi, com la digestió aeròbia o el compostatge. En tots dos casos s'obté un residu orgànic que ja està força degradat (o estabilitzat) i, per tant, es pot utilitzar com a fertilitzant o esmena orgànica per al sòl. Sobretot si després de la degradació de la matèria orgànica es deixa madurar en piles, de la mateixa manera com s'ha fet tradicionalment als femers.

Pel que fa a l'energia, s'obté en forma de gas combustible (com ho són el gas natural o el butà que utilitzem a les nostres llars). Aquest gas rep el nom de biogàs pel fet que es produeix mitjançant un procés biològic. El biogàs és ric en metà (60-70% CH₄) i diòxid de carboni (30-40% CO₂). El metà és el principal constituent del gas natural. Es pot considerar que l'energia que contenen 10 m³ de biogàs equival a 6-7 m³ de gas natural.

2.2. Fases de la fermentació anaeròbia

La digestió anaeròbia es caracteritza per l'existència de tres fases diferenciades en el procés de degradació del substrat (terme genèric utilitzat per designar, en general, l'aliment dels microorganismes), intervenint

diverses poblacions de bacteris. La naturalesa i composició química del substrat condiciona la composició qualitativa de la població bacteriana de cada etapa, de manera que s'estableix un equilibri, fràgil o estable segons la composició i operació del sistema.

Seguidament es defineixen les diferents fases de la fermentació anaeròbia i les seves característiques principals.

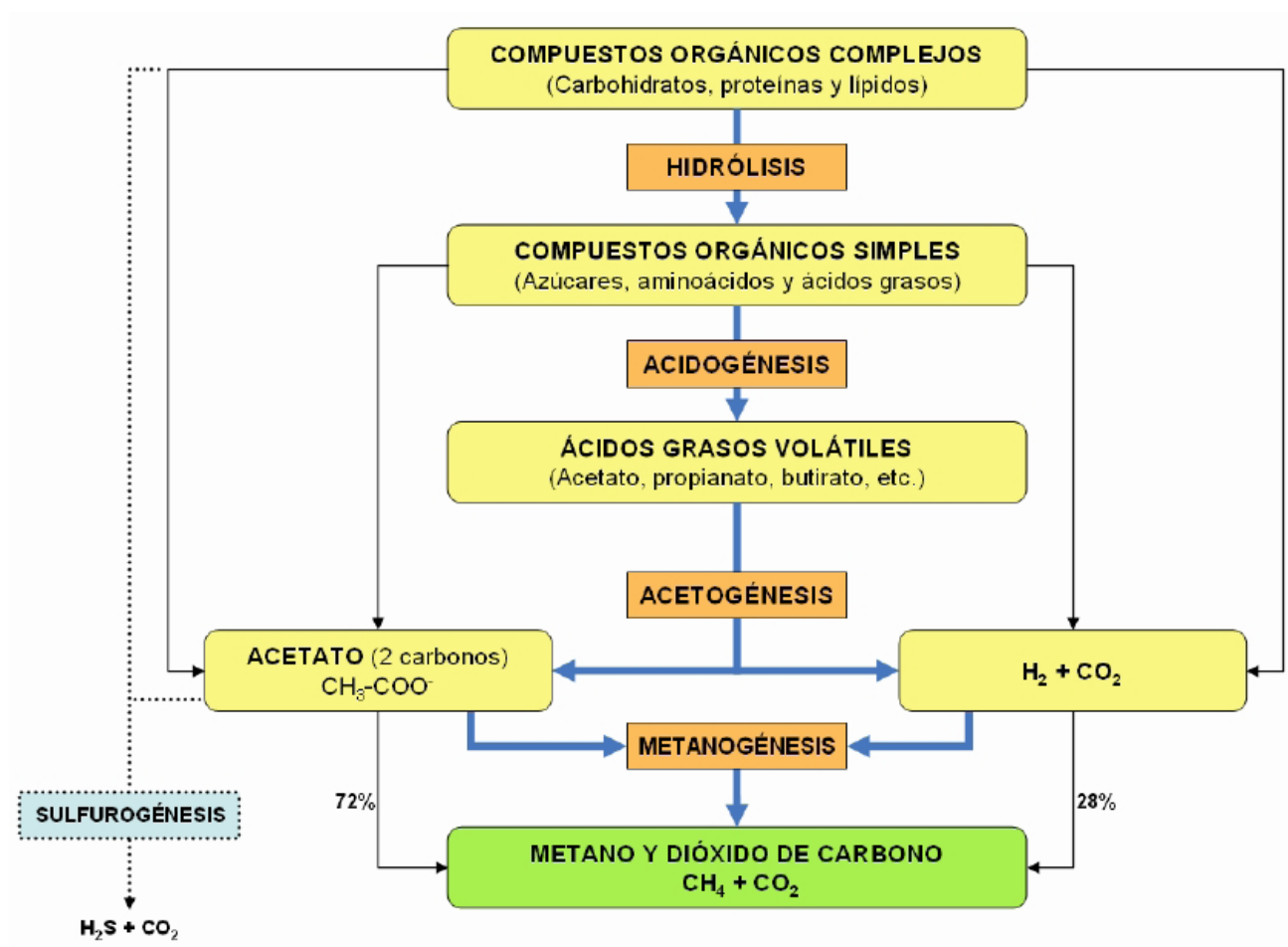


Figura 1.3 Fases de la digestió anaeròbia. Font: Adaptado de Pavlostathis, S.G., Giraldo-Gómez, E. (1991).

a) Etapa 1: Hidròlisi (fase enzimàtica)

La matèria orgànica polimèrica no pot ser utilitzada directament pels microorganismes, per això, les molècules complexes, com els polisacàrids, proteïnes i lípids, són hidrolitzades per enzims extracel·lulars produïts pels microorganismes fermentatius. Com a resultat es produeixen compostos solubles que seran metabolitzats pels bacteris anaerobis a l'interior de les cèl·lules.

L'etapa hidrolítica pot ser l'etapa limitant de la velocitat del procés global. Cal destacar que qualsevol substrat està compost de tres tipus bàsics de macromolècules: proteïnes, glúcids i lípids. L'hidròlisi de cada tipus de compost es realitzarà per diferents grups enzimàtics. Un dels principals components de la matèria

orgànica sobretot en residus ramaders, són els materials lignocel·lulòsics, formats principalment per lignina, cel·lulosa i hemicel·lulosa. La lignina és un material altament refractari a la degradació anaeròbia, afectant també la biodegradabilitat de la cel·lulosa, de l'hemicel·lulosa i altres polímers, convertint-se la seva degradació en el procés limitant de la velocitat d'hidròlisi i, per tant, de la degradació anaeròbia de determinats substrats.

El grau d'hidròlisi i la velocitat del procés depèn del pH, la temperatura, la concentració de biomassa hidrolítica, el tipus de matèria orgànica particulada i de la mida de la partícula (degut fonamentalment a la disponibilitat de superfície per l'adsorció d'enzims hidrolítics).

Per exemple: els pretractaments físico-químics, l'efecte dels quals és reduir la mida de partícula, afavoreixen un augment de la taxa d'hidròlisi, i si aquesta fase és la limitant del procés anaerobi, suposa un benefici per al procés en general, permetent menors temps de retenció i dimensions més petites de reactor. La taxa d'hidròlisi, en general, augmenta amb la temperatura, independentment del compost que es tracti. La hidròlisi pot veure's afectada per la presència d'algun compost que sigui tòxic o inhibidor de la població bacteriana responsable de la producció d'enzims extracel·lulars.

b) Etapa 2: Acidogènesi (fase biològica)

Els compostos solubles, bàsicament diferents tipus d'oligosacàrids i sucres, alcohols, aminoàcids i àcids grassos, són fermentats o oxidats anaeròbiament pels microorganismes acidogènics que produeixen, principalment, àcids grassos de cadena curta, alcohols, diòxid de carboni i hidrogen. Els àcids grassos de cadena curta són transformats en àcid acètic, hidrogen i diòxid de carboni, mitjançant l'acció dels microorganismes acetogènics.

c) Etapa 3: Metanogènesi (fase biològica)

Finalment, es produeix la metanogènesi, que produeix metà principalment a partir de l'àcid acètic i mitjançant la reducció del diòxid de carboni per l'hidrogen. Els microorganismes metanogènics poden considerar-ne els més importants ja que són els responsables de la formació de metà i de l'eliminació del metà dels productes anteriors, a més donen nom al procés general de la biometanització. Aquests microorganismes es poden dividir en dos grups en funció del substrat principal.

Tenim els hidrogenotròfics, que consumeixen hidrogen i àcid fòrmic, i els metilotròpics o acetoclàstics, que consumeixen grups metil de l'acetat, metanol i algunes amines.

2.3. Paràmetres que influeixen al procés de la digestió anaeròbia

Hi ha certs paràmetres que s'han de tenir en compte per poder produir la màxima quantitat possible de biogàs i de màxima qualitat. Els paràmetres principals que es controlaran a la planta seran: el pH, la temperatura, el temps de retenció i l'agitació.

pH

En cada fase del procés els microorganismes presenten màxima activitat en un rang de pH diferenciat.

A la Taula 2.1 següent es pot observar el rang idoni del pH per a cada grup de bacteris.

Grup de bacteris	Rang de pH
Hidrolítics	7.2 - 7.4
Acidogènics	7.0 - 7.2
Metagènics	6.5 - 7.5

Taula 2.1: Rang de pH idoni pels diferents bacteris en el procés de la digestió anaeròbia. Font: Xavier Flo-tats

PARÀMETRE	HIDRÒLISIS/ACIDIFICACIÓ	FORMACIÓ DE CH ₄
Temperatura (°C)	25 - 35	Mesòfil: 32 - 42 Termòfil: 50 - 58
pH	5,2 - 6,3	6,7 - 7,5
Relació C:N	10 - 45	20 - 30
Contingut en sòlids (%)	<40	<30
Potencial redox (mV)	300 - 400	<250
Demanda de nutrients C:N:P:S	500:15:5:3	600:15:5:3
Elements traça	No existeixen requeriments específics	Micro nutrients essencials: Ni, Co, Mo, Se.

Taula 2.2 Condicions ideals per la digestió anaeròbia en funció de la fase. Fonts: Pfeiffer, B.

En el manteniment del pH és de vital importància el sistema format per les diferents formes del carboni

inorgànic, en equilibri –diòxid de carboni, hidrogen carbonat i àcid carbònic. En el cas dels residus ramaders, la seva alta alcalinitat permet una autoregulació permanent del pH. Es treballa en tots els casos al voltant de la neutralitat. Per tant, una alcalinitat compresa entre 2 i 3 g/l de CaCO_2 és suficient per l'autoregulació del pH en el reactor.

Temperatura

El procés de digestió anaeròbia pot realitzar-se a tres rangs diferents de temperatura:

Rangs de temperatura	°C
Psicròfil	<20
Mesòfil	30 - 40
Termòfil	50 – 70

Taula 2.3: Rangs de temperatura al procés de la digestió anaeròbia. Font: Xavier Flotats (any 2000)

Amb l'augment del rang de temperatures s'augmenta la velocitat de creixement dels bacteris i les taxes d'hidròlisi, i amb això la velocitat global del procés i de producció de biogàs. Treballant en el rang termofílic s'assegura, a més, la destrucció de patògens, l'eliminació de males herbes i d'ous i larves d'insectes, per tant, serà interessant per al tractament de residus que han de ser aplicats al sòl i cultius que requereixin un cert grau d'higienització. És un sistema amb gran implantació en països amb legislació ambiental restrictiva. Malgrat els grans avantatges que presenten els sistemes termofílics, aquests requereixen un major control i seguiment, ja que a altes temperatures es modifiquen les característiques d'alguns compostos. Aquest problema es pot eliminar mitjançant mesclades adequades de residus de diferent origen per disminuir la concentració de nitrogen (co-digestió).

Temps de retenció (TR)

És el temps que el substrat roman en el reactor, sotmès a l'acció dels microorganismes. Hi ha un temps de retenció mínim, per sota del qual no és possible el procés. En un sistema de mescla completa, el temps de retenció haurà de ser com a mínim corresponent a la velocitat del creixement dels microorganismes. Com més gran sigui el temps de retenció, major producció de biogàs per unitat de matèria orgànica introduïda, i major grau d'eliminació de matèria orgànica s'obtindrà, però la producció diària disminuirà una vegada superat l'òptim. Per tant, és fonamental determinar el temps de retenció òptim. Un temps de retenció normal en el rang mesofílic per residus ramaders és de 20 a 30 dies.

Càrrega orgànica (FC)

La velocitat de càrrega orgànica o factor de càrrega és la quantitat de matèria orgànica introduïda diàriament al reactor. Depèn de la composició del substrat i del temps de retenció. Un augment sobtat de la càrrega orgànica pot provocar una sobrecàrrega. Els valors normals per residus ramaders i fracció orgànica de residus sòlids estan entre 2 i 4 g

$$SV/l \cdot d \quad (SV = \text{Sòlids Volàtils}; l = \text{litres}; d = \text{dies})$$

Agitació

La sedimentació de partícules i l'oclusió de gasos produeix una disminució de la taxa de reacció entre el substrat i els enzims produïts pels bacteris, limitant-se així l'activitat i el rendiment de la transformació. Per tant, una manca d'homogeneïtzació pot causar una disminució de la producció de biogàs.

2.4. Classificació dels reactors en el procés de la digestió anaeròbia

El reactor anaerobi és la unitat fonamental del procés de digestió. És l'element de la instal·lació on hi té lloc el procés i és el responsable d'assegurar l'ambient anaerobi del sistema (absència d'oxigen). Dins de l'enginyeria de reactors existeixen multitud de configuracions o tipologies d'aquests equips. Cada tipologia de reactor comporta diferències en quant a productivitat, flexibilitat, simplicitat i resistència del sistema, que han de ser analitzades en funció dels objectius i criteris adoptats.

Hi ha una quantitat bastant elevada de tipus de reactors i, per tant, de tecnologies diferents pel procés de la digestió anaeròbia.

A continuació (Taula 2.5), es presenta una classificació dels reactors que s'utilitzen actualment.

ESTAT DE MATÈRIA	REACTOR	APLICACIÓ
Suspensa	Mescla completa	Residus, Aigües residuals
	Mescla completa amb recirculació de biomassa	Residus, Aigües residuals
	Flux de pistó	Residus, Aigües residuals
Fixada	Filtre anaerobi flux ascendent	Aigües residuals
	Filtre anaerobi flux descendent	Aigües residuals
	Llit fluïditzat	Aigües residuals
Retinguda	Llit de llots (UASB)	Aigües residuals

	Llit de llots expandit (EGSB) Llit de llots multifàsic	Aigües residuals Aigües residuals
Altres	Sistemes discontinus	Residus sòlids

Taula 2.5: Classificació dels reactors de digestió anaeròbia. Font: Institut català d'energia

En aplicacions de digestió anaeròbia a nivell d'explotació ramadera, són bàsicament dues les tipologies de reactor utilitzades: mescla completa (CSTR) i flux de pistó (PFR).

Reactor de mescla completa

Un reactor de mescla completa consisteix, bàsicament, en un dipòsit completament agitat, en el que s'assumeix que, les característiques de l'afluent que abandona el reactor són iguals a les de l'interior del volum de reacció. Aquests sistemes són d'una elevada simplicitat, però presenten l'inconvenient de tenir elevats temps de retenció respecte altres tipologies de reactor. És clar que com més temps està sotmès a degradació un volum determinat, major serà la depuració o eliminació de matèria orgànica produïda, però s'ha de destacar que la velocitat en la producció de biogàs no presenta el mateix comportament.

Per a purins de porc el temps de retenció òptims en aquests tipus de reactors està comprès entre 20 i 30 dies i el rang de temperatures entre 25°C i 35°C, és a dir al rang mesofílic.

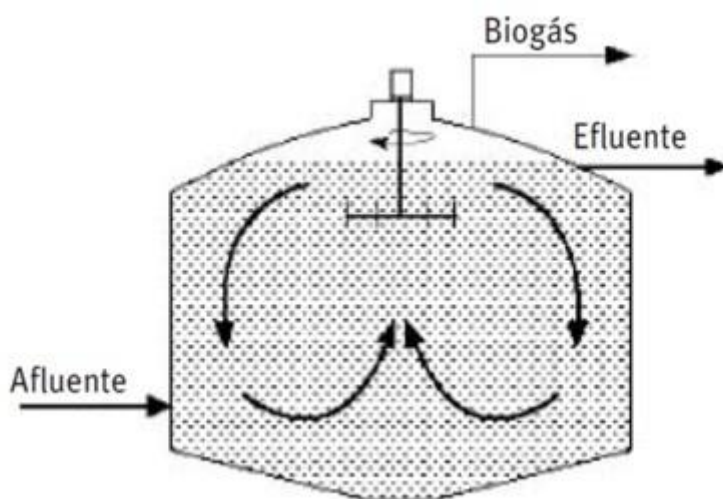


Figura 2.1: Reactor de mescla completa. Font: Institut català d'energia

Reactor flux de pistó

En un reactor de flux pistó existeix una estratificació de les propietats dels fluid en reacció, gràcies al model de flux de treball aconseguint així reduir el temps de retenció respecte sistemes de mescla completa (que es pot traduir en un menor volum de reactor per a un cabal de tractament determinat, reduint així el cost

d'inversió), però amb una major complexitat tecnològica o d'operació, fet que fa que resultin únicament interessant per a petits volums de reacció.

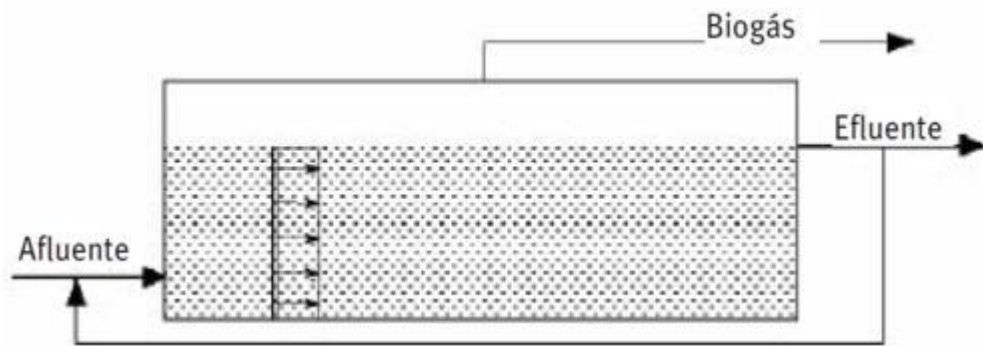


Figura 2.2: Reactor de flux de pistó. Font: Institut català d'energia

Sistema d'homogeneïtzació o agitació

Donada la natura biològica dels reactors anaerobis, el rendiment òptim del procés s'obté quan el sistema s'abasteix amb un cabal constant i homogeni. Encara que no pot considerar-se la homogeneïtat com un paràmetre modificable, s'ha de tenir en compte a l'hora de valorar el comportament d'una instal·lació. L'absència de pics en la càrrega orgànica o de **pH**, així com un correcte control de l'alcalinitat i la temperatura, asseguruen una operació regular i estable.

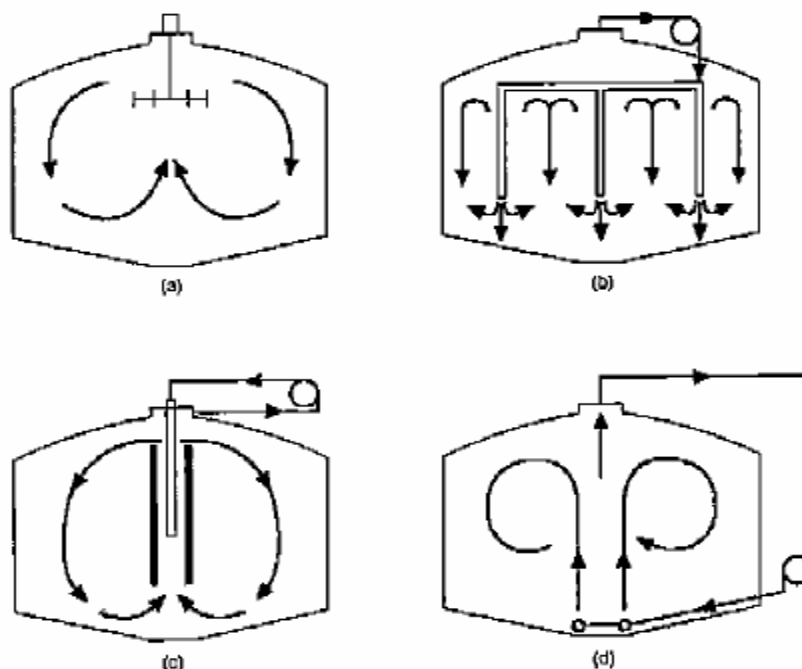


Figura 2.3: Tipologies d'agitadors; mecànic (a) o per recirculació de gasos (b,c i d).

Font: Institut català de l'Energia.

Depenent de la tipologia de reactor utilitzat, i de les característiques de l'influent, s'optarà pel sistema

d'agitació més favorable (mecànica o pneumàtica). L'agitació no ha de ser excessivament intensa, ja que podria trencar els agregats bacterians, dificultant el procés de digestió. Si l'etapa hidrolítica (descomposició de la matèria orgànica particulada a compostos solubles i accessibles als bacteris) és la limitant del procés, una agitació vigorosa permet una major solubilització del material polimèric i, per tant, una major eficiència operativa. Cal trobar, doncs, l'equilibri entre els dos requeriments.

2.5. Avantatges del procés de digestió anaeròbia

En el context actual ambiental, on s'intenta la minimització de les emissions de CO₂, COV's (compostos orgànics volàtils) i d'altres gasos d'efecte hivernacle, la digestió anaeròbia ha de ser un procés clau, i en un esquema energètic en què coexisteixi biogàs i un combustible fòssil, ens hem de dirigir cap a una minimització del consum d'aquest darrer, i augmentant la contribució neta del biogàs.

A continuació es presenten els avantatges que pot representar el procés de la digestió anaeròbia:

Paràmetre	Avantatges de la digestió anaeròbia
Variabilitat en la composició	Homogeneïtzació de la composició més intensa conforme major és el temps de retenció
Males olors i compostos orgànics volàtils	Eliminació d'àcids grassos volàtils (AGV) i altres compostos fàcilment degradables. La matèria orgànica resultant és lentament o difícilment degradable; els purins digerits no presenten olor desagradable i és un producte més estable. En processos tèrmics posteriors s'eviten problemes per volatilització de compostos orgànics. La reducció o eliminació d'AGV disminueix la fitotoxicitat als conreus per aquests compostos
Reducció de matèria orgànica total. Mineralització	Reducció de sòlids totals i volàtils. Reducció de matèria orgànica degradable i manteniment de les concentracions de nutrients. Transformació de nitrogen orgànic a amoniacal. En cas de separar fase aquosa, el producte resultant presentarà menor volum, mantenint la mateixa riquesa fertilitzant
Distribució de partícules i de fracció soluble	Homogeneïtzació en la distribució de partícules, que afavoreix el disseny i aplicació de processos posteriors d'assecat. Hidròlisis de partícules de mida petita i col·loïdals, i reducció d'orgànics solubles, per la qual cosa es facilita la separació entre fases solubles i en suspensió

3.0. Activitat de la granja

3.1. Descripció de l'activitat

A continuació es detallen les característiques de la granja “Alboquer” de porcs d’engreix amb les dades anuals i diàries de producció de purí i biogàs respectivament:

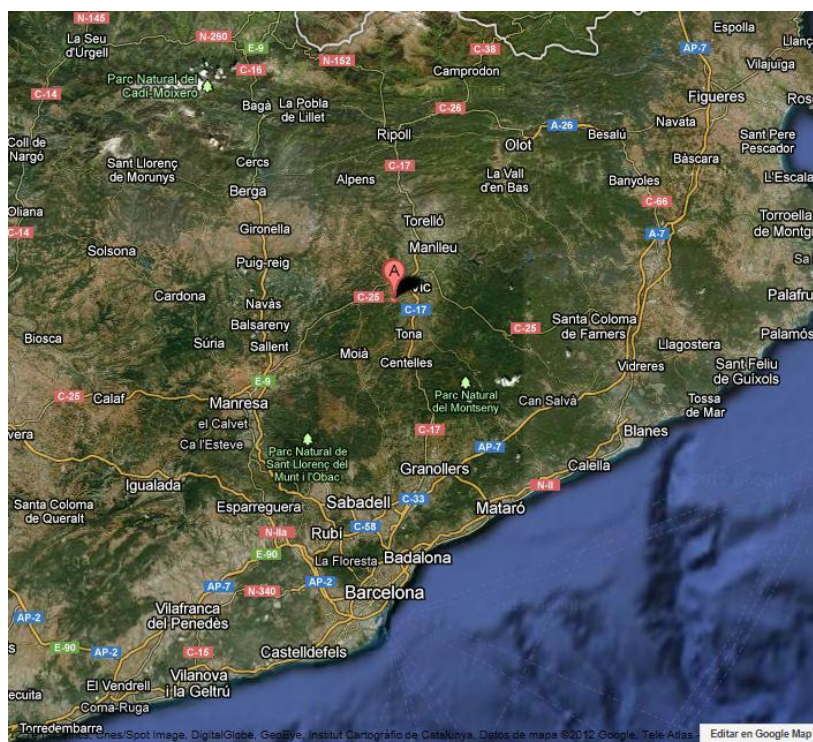
GRANJA “ALBOQUER”
2800 porcs d’engreix
Producció de 5934 m³ de purí anuals, 16 m³ diaris
Producció de 127750 m³ de biogàs anuals, 350 m³ diaris
1 m³ de biogàs equival a 6,8 kWh
Potència contractada a FECSA-ENDESA de 10 kW

Taula 3.1. Característiques de la granja

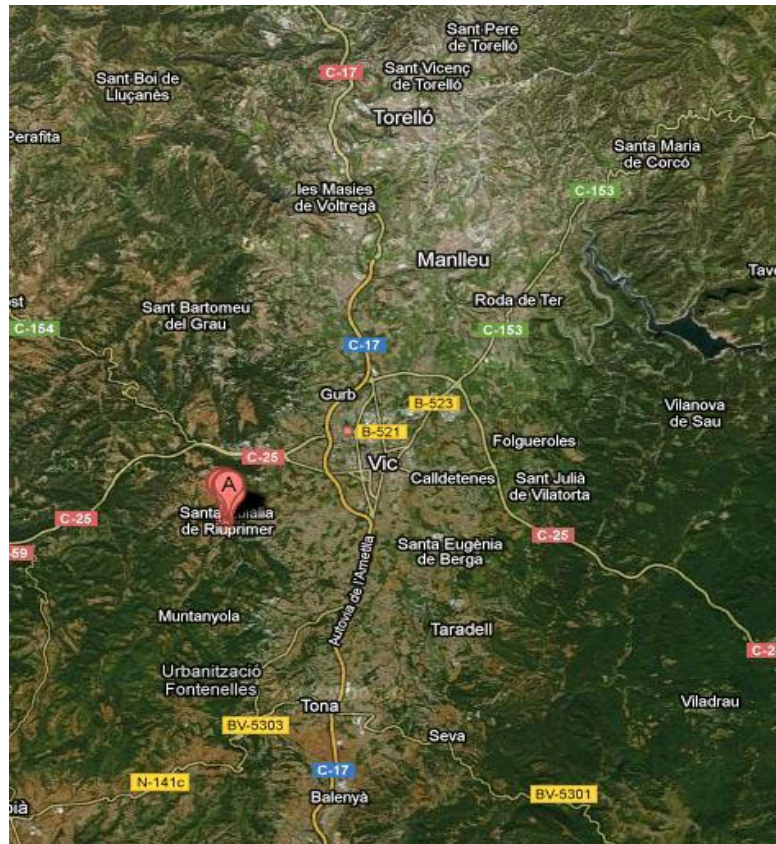
Situació geogràfica

La instal·lació sotmesa a estudi és una explotació familiar corresponent a una granja porcina de porcs d’engreix que està situada a la localitat de Santa Eulàlia de Riu primer, a l’Est de la comarca d’Osona, a la província de Barcelona.

En la imatge mostrada a continuació (*Figura 3.1*) es pot obtenir una idea orientativa de la seva ubicació respecte Catalunya.



S'ha optat per aquesta instal·lació ja que Osona és la comarca amb la més alta densitat porcina de Catalunya, i per tant és on la gestió del purí representa una preocupació més important i on se'n pot treure un major profit de caràcter estrictament energètic.



A la *Figura 3.2* es pot veure una ampliació de la imatge anterior que permet obtenir-ne una millor ubicació a nivell comarcal.

Una vegada situada l'explotació a nivell comarcal, es mostra en la última imatge (*Figura 3.3*) una visió aèria de la granja, on es poden veure totes les infraestructures de les que disposa. Veiem la ubicació dels diferents dipòsits de purí que disposa, el primer dipòsit cobert per uralita i l'altre es la bassa que es troba sota les naus que estan alineades entre elles. Al centre de l'explotació hi trobem el dipòsit d'aigua i més cap al sud la vivenda amb un cobert al costat on es troba la maquinària agrícola.



Figura 3.3. Vista aèria de la granja

Condicions climatològiques.

Les condicions climatològiques del lloc geogràfic on és instal·lat el digestor són molt importants, ja que la quantitat de biogàs extraïble per m³ de purí depèn de diferents variables, entre elles la temperatura.

Depenent de les condicions climatològiques exteriors s'hauran d'adoptar diferents mesures, com pot ser un equip de calefacció extern per assegurar que dins el digestor es mantingui la temperatura òptima per a la reproducció de les diferents bacteries que intervenen en el procés de descomposició.

Aquesta mesura dependrà de la finalitat del digestor; sent pràcticament imprescindible si s'utilitza per a alimentar un motor de cogeneració, i menys important si per altre banda s'utilitza només per a generar calefacció per a la pròpia granja.

En aquest cas concret, les condicions no són les més favorables, ja que a la localitat de Santa Eulàlia de Riu primer hi ha un clima mediterrani, però típic de mitja muntanya, amb freqüents precipitacions i temperatures relativament baixes.

Mes	T ^a mitjanes(°C)	Humitats (%)
Gener	12,6	92
Febrer	13,1	84
Març	15,4	73
Abril	17,8	81
Maig	20,6	75
Juny	22,3	67
Juliol	27,3	71
Agost	26,8	68
Setembre	22,4	70
Octubre	19,2	85
Novembre	16,1	82
Desembre	13,5	88

Taula 3.2. Temperatures mitjanes i humitats mensuals

Capacitat de la granja

La granja estudiada, sense considerar la superfície adjunta utilitzada com a vivenda, disposa d'una superfície útil de gairebé 3.500 m² repartits amb les diferents naus que es mostren a la *Figura 3.3*.

Es tracta d'una explotació intensiva de bestiar porcí d'engreix de cicle integrat, en la qual es reben, d'altres granges, porcs de 20 kg i es tornen, una vegada han engreixat, amb un pes aproximat de 100 kg. El cicle es repeteix cada 4,5 mesos, ja que és el temps que necessiten els animals per assolir el pes. Està formada per quatre naus, en les quals conviuen 2800 porcs d'engreix. Es pot veure com hi ha dues naus paral·leles i separades per el dipòsit d'aigua entre les dues naus restants que es troben alineades, sota les dues naus alineades es troba la bassa de purí que ja ha passat per la planta d'aprofitament del biogàs . La planta de biogàs queda a un nivell superior a les diferents fosses de emmagatzement de purí.

3.2. Sistema d'emmagatzematge

Tant els purins generats com les aigües de neteja utilitzades per a higienitzar les naus reben el mateix tractament i són emmagatzemades a les fosses de purins interiors dels locals. Quan aquestes fosses estan plenes les dejeccions són conduïdes cap als dipòsits generals de purí.

Fosses inferiors de les diferents naus: Per l'emmagatzematge de les dejeccions del bestiar de l'explotació es disposa de les fosses interiors de les naus que tenen diferents capacitats. En la majoria dels casos les fosses estan construïdes amb parets d'obra de fàbrica lliscades per la cara interna de la fossa i la solera està totalment pavimentada amb formigó de massa de 15 cm de gruix. Per tant aquestes fosses són totalment

estanques i impermeables, garantint en tot moment que no es produeixin filtracions al sòl, subsòl i aqüífers propers.

Dipòsits generals de purins: Es disposa de dos dipòsits generals de purins situats al sud de l'explotació, a un nivell inferior de tots els edificis. El primer dipòsit té una forma quadrada amb coberta de uralita i unes mides de 10 x 12 m, amb una superfície interior de 180m² amb una fondària de 3,2 m. Per tant la seva capacitat és de 384 m³. El segon dipòsit és una bassa a l'exterior de forma el·lipsoïdal i unes dimensions de 23m de llargada per uns 12 m d'amplada, amb una fondària aproximada de 2,9 m el punt més baix, per tant té una capacitat aproximada de 580 m³.

El primer dipòsit està construït amb murs de formigó armat amb acer d'un gruix de 30 cm. La solera és del mateix material i presenta un gruix de 15 cm. Les unions entre parets i entre les parets i el terra estan degudament rejuntades, per tan està totalment impermeabilitzat, evitant així que es produeixin filtracions nocives al sòl, subsòl i aqüífers propers.

La bassa està folrada amb plàstic PVC per evitar fuges de purí i es troba ballada per la seva seguretat.

Es treballarà amb la idea d'intentar aprofitar els dipòsits generals per a la nova instal·lació del digestor, evitant així un major impacte ambiental del terreny i aconseguint una reducció dels costos destinats a la construcció d'una nova bassa.

Actualment, sumant la capacitat de les 4 fosses inferiors de les naus i la capacitat dels dipòsits generals de purins es compta amb una capacitat total d'emmagatzematge de 1164 m³.

3.3. Residus generats a la granja

Els residus que es generen a la granja són, principalment, els fems generats pel bestiar porcí. S'ha de fer una diferenciació entre els fems i els purins.

Fems: Producte sòlid constituït per les dejeccions sòlides (excrements) i líquides (orina) dels animals, soles o barrejades amb restes de productes d'alimentació, incloses les que hagin sofert algun procés de transformació. Com a característica remarcable es pot destacar que la quantitat de matèria seca que conté permet que quedi amuntegada.

Purins: Producte semi sòlid o líquid constituït per una barreja de dejeccions sòlides (excrements), líquides (orina), restes de producte d'alimentació dels animals i aigua en quantitats variables (generalment superior al 85% en pes). La principal característica és el seu baix nivell de matèria seca, la qual oscil·la entre un 2% i un 15%. Els purins representen un elevat volum, tenen un contingut alt de nitrogen i fòsfor i la seva

composició heterogènia i variable depèn en gran mesura del sistema de maneig de les explotacions, alimentació, estat fisiològic, època de l'any i sistema d'emmagatzematge.

Per tant, a partir d'ara es parlarà de purins i no de fems i, conseqüentment, la concentració d'aigua d'aquest residu serà del voltant del 90%.

Si considerem que la quantitat diària de purins generats a la granja es de 16 m³, anualment tenim un volum de 5934 m³ de purins.

Problemàtica medi ambiental dels purins

En els darrers anys ha cobrat importància la problemàtica medi ambiental originada pel creixement i modernització de la indústria ramadera porcina relacionada amb l'eliminació d'efluents (o purins).

En èpoques anteriors no estava regulada l'eliminació dels purins de bestiar porcí, els quals degut a les seves característiques fertilitzants eren aplicats sobre els terrenys de cultiu. Actualment, degut al gran creixement de la modernització del sector ramader, la quantitat de purins generats a crescut considerablement.

Aquesta situació ha desembocat en greus problemes medi ambientals, com la contaminació d'aqüífers i, en conseqüència, s'ha passat a controlar, per part de l'Administració, la seva eliminació.

En aquest sentit, des del 1999 es venen adoptant iniciatives per a l'eliminació d'aquests excedents de purins.

Algunes d'aquestes iniciatives han sigut:

- Establiment, a Catalunya, d'un Pla de Gestió de Dejeccions ramaderes per controlar la generació i tractament de purins i, evitar el seu vessant en zones no adequades [Real Decret 220/2001, d'1 d'agost, de gestió de les dejeccions ramaderes; departament de Medi Ambient de la Generalitat de Catalunya].
- Promoció de plantes de tractament de purins mitjançant l'ús de tecnologies complimentades per instal·lacions de cogeneració, ja que aquestes iniciatives són d'origen privat i recolzen la seva viabilitat econòmica en la venda d'electricitat en Règim Especial.
- Incentivació, també a Catalunya, per part de la Generalitat, per al tancament de granges en les zones, anomenades sensibles, on els problemes de contaminació són ja molt greus.
- Pla de biodigestió de purins de la Generalitat de Catalunya, del qual se'n parlarà més endavant.

Composició dels purins

Una dada important per fer la estimació del potencial de producció de biogàs és la composició dels purins.

En el cas dels residus ramaders, és molt imprevisible, ja que les seves característiques depenen de molts de factors, com per exemple, de l'alimentació del bestiar, del cicle de la granja, de les condicions atmosfèriques del lloc de procedència...

Degut a la no existència de cap mena d'anàlisi dels purins d'aquesta explotació es consideren unes característiques estàndard (de Catalunya), que són les que es presenten a continuació :

	MINIM	MAXIM	MITJANA
Sòlids totals -ST(%)	1,4	16,9	6,4
Sòlids volàtils-SV- sobre ST(%)	44,5	76,4	65,5
N-Amoniacal (mg/l)	1673,8	7558,4	4383,5
N-Orgànic (mg/l)	396,4	3672,3	1529,3
DQO (mg/l)	8660,0	186084,3	71591,7
DQO/SV (g DQO/gSV)	1,22	2,39	1,69
Fòsfor- P (mg/l)	90,9	6255,4	1406,9
Potassi- K (mg/l)	1657,0	7791,3	4929,7
Alcalinitat parcial (pH=5,75)	0,9	23,2	11,0
Alcalinitat total (pH=4,3)	1,3	45,2	19,2
Relació d'alcalinitat (RA)	0,2	0,7	0,4
Coure	7,6	170,3	41,3
Zinc- Zn (mg/l)	7,6	120,8	63,4
pH	6,6	8,7	7,7

Taula 3.2. Composició dels purins de bestiar porcí. Font: X. Flotats, Bonmatí i Campos

Aquestes dades són, així doncs, aproximatives que en cap cas no es podran saber amb exactitud fins que no es faci un anàlisi dels purins generats a la granja.

Gestió actual dels purins a la granja

Actualment, els residus que es generen a la granja d'estudi s'emmagatzemen a les quatre fosses que disposa la granja. Quan el granger ho creu oportú extreu els purins dels dipòsits amb les bombes d'extracció disponibles a la granja i els llença als sòls de conreu situats als voltants de la instal·lació. El temps mínim de retenció als dipòsits que s'obliga per evitar la contaminació per nitrats del nivell freàtic, a vegades, no es té en compte, ja que el volum dels dipòsits no és suficient per emmagatzemar tots els purins generats durant uns quants mesos.

3.3. Estimació del potencial de producció del biogàs

Degut a la complexitat del sector del biogàs, la única manera per fer una estimació del potencial de producció és a partir de les dades estadístiques. La producció depèn, a més de la qualitat dels purins, de la

tecnologia emprada durant el procés de la digestió anaeròbia. S'ha fet un estudi del potencial de producció a partir de tres fonts: les dades que provenen de l'EPER-Espanya (ANNEX B: Quantificació del biogàs), l'enginyer Oscar Bartomeu (especialitzat en el sector de biogàs) i l'empresa canadenca Electrigaz.

En relació a les dades de l'EPER es té que el potencial total de producció de biogàs equivaldria a uns 167058 m³/l'any. Suposant un rendiment del digestor d'un 80% es té finalment 133647 m³/any, és a dir uns 366m³/dia.

L'enginyer Oscar Bartomeu va donar una estimació del potencial de producció de biogàs a partir dels purins generats a la granja i tenint en compte que provenia de porcs d'engreix. La xifra ascendeix a uns 155708 m³/any o el que és el mateix a 426,6 m³/dia.

L'empresa Electrigaz proporciona un servei de consultoria a través de la seva pàgina web, que consisteix amb una estimació del biogàs produïble i de la tecnologia recomanada (ANNEX C: estudi preliminar empresa Electrigaz). A partir de la xifra de 2800 porcs van fer una estimació de producció d'uns 5110 m³/any de purins (xifra inferior al valor real de la granja: 5934 m³) i d'una producció de 293 m³/dia de biogàs. Aquest valor és considerablement més baix que els altres perquè no s'ha considerat que els purins provenen d'una explotació de bestiar porcí d'engreix.

Amb les xifres que s'han obtingut s'ha fet un balanç del potencial de producció de biogàs i s'ha optat per escollir un valor mitjà de 350 m³/dia, és a dir, 127750 m³/any amb un 65% de metà. Aquesta dada serà la que s'emprarà per fer l'estimació de l'energia elèctrica produïble, així com dels beneficis que podrà generar la planta de producció de biogàs.

4.0. Disseny de la planta de producció de biogàs

En aquest apartat es parlarà, primer de tot, de tots els elements que intervenen a la planta. Una part important del dimensionat és el digestor, ja que serà el responsable de generar el biogàs.

Així doncs, es començarà dimensionant el digestor i a partir d'aquest es farà el dimensionat complet de tots els altres elements que intervenen a la planta de producció d'energia elèctrica mitjançant el biogàs.

4.1. Dimensionat del digestor

El digestor és el lloc a on la matèria es digereix per produir el biogàs, per tant, és l'element més important per fer la planta rendible. El seu disseny serà clau per produir la màxima quantitat possible de biogàs. Per tant, per dimensionar el digestor és necessari, en primer lloc, fer un càlcul previ de la quantitat de purins a tractar diàriament i de la quantitat de biogàs que es podrà generar. Aquesta última dada és gairebé impossible saber-la amb certesa, per tant, s'ha de fer una aproximació estadística.



Figura 4.1: Exemple de digestor anaerobi. Font: Cercador Internet

Dimensions del digestor

El digestor serà del tipus de mescla completa, ja que, és el més viable per a la digestió dels residus ramaders generats a una granja de petites dimensions. S'ha dimensionat el digestor a partir de la fórmula següent :

$$V = TR \times FC \quad (\text{Eq. 4.1})$$

V = Volum total del digestor

TR = Temps de retenció

FC = factor de càrrega.

Els valors més usuals per a un digestor de mescla completa funcionant amb residus ramaders estan entre 20 i 30 dies. S'ha optat per agafar el valor de TR= 26 dies. En el nostre cas es té FC= 16 m³, així doncs s'obté un volum de V= 416 m³. Aquest volum correspondrà al volum total de matèria orgànica, però no al volum total del digestor, ja que s'ha de deixar lloc per incloure l'entrada de l'afluent, així com el conducte de sortida del biogàs.

El material del digestor és el formigó armat (H-250/AEH-500) amb encofrat metàl·lic amb solera i fons cònic.

Les dimensions del digestor són les següents:

- Altura des del centre (interior) del digestor: 7 m
- Altura total des del terra: 7,72 m
- Diàmetre interior: 9,2 m
- Gruix de la paret de formigó lateral del digestor (fins els 6,6m): 0,3 m
- Diàmetre exterior: 9,8 m
- Pendent del fons del digestor: 5°
- Volum final total: 465,1 m³
- Gruix de la solera al punt mig: 0,3 m

A l'Annex A es pot trobar un plànol del digestor amb totes les acotacions descrites anteriorment.

Coberta del digestor

La coberta del digestor s'ha optat per fer-la amb un material plàstic, anomenat cautxú EPDM (ha superat les certificacions ISO 9002 e ISO 14001), el qual ens permetrà tenir el gasòmetre incorporat al mateix digestor.

Es tracta d'un material molt elàstic que a mida que es vagi generant el biogàs es deformarà fins arribar a la seva deformació màxima recomanable. La pressió relativa a dintre del gasòmetre serà d'uns 30 o 40 mbar, fet que no perjudica el rendiment de les bactèries. Les seves característiques principals són:

- Incomparable resistència a l'ozó, a la radiació UV i principalment al envaïment.
- Roman flexible a temperatures fins a -45 °C i es pot allargar més del 300% per acomodar-se a las fluctuacions diàries i/o estacionals de la temperatura suportant les condicions climàtiques més extremes.
- La membrana requereix poc o cap manteniment.
- És un material inert amb un impacte ambiental reduït durant la seva fabricació i durant l'ús del producte.

Faran falta uns 80 m² de lona EPDM per cobrir tota la coberta del digestor.

Aïllament i xapa de protecció

El procés de digestió tindrà lloc en el rang mesòfil (entre 30°C i 40°C), per tant haurem d'escalfar la matèria

orgànica i, alhora, aïllar tèrmicament el digestor per perdre la mínima calor possible. Per tant, s'ha optat per posar una capa d'aïllament (escuma de poliuretà) de 100 mm de gruix i per protegir-lo de les condicions atmosfèriques (sol, pluja i vent) una xapa de revestiment galvanitzada pintada de color verd. La xapa també protegirà la coberta del digestor formant una superfície semiesfèrica d'un volum aproximat de 180 m³ que servirà per allotjar la lona EPDM allargada pel biogàs generat.

Entrada de l'influent i sortida de l'efluent

L'entrada de l'influent tindrà lloc per la part superior del digestor, a una altura major que 6,6 m, és a dir del nivell màxim que pot assolir la matèria orgànica. S'utilitzarà conductes de PVC de 3" de diàmetre i es bombejarà a partir de la bomba EBARA "DW VOX 200" (ANNEX B: Corbes de les bombes). Les especificacions de la bomba són les següents:

- Bomba submergida fabricada en acer inoxidable AISI 304
- Cabal màxim = 6 m³/h
- Altura manomètrica màxima = 12,5 m
- Potència = 1,5 kW
- Temperatura màxima del fluid bombejat = 50°C

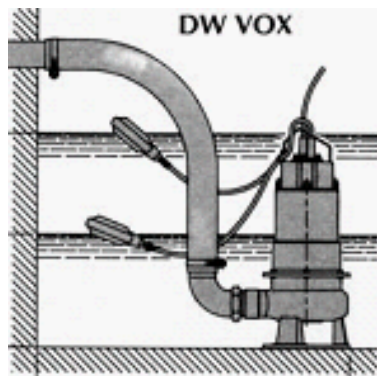


Figura 4.2: Bomba per a aigües residuals. Font: EBARA

Així doncs, per bombejar la quantitat diària de purins (16 m³) es necessitaran unes 3 hores de funcionament de la bomba.

La sortida de l'efluent es portarà a terme per la part central inferior del digestor i es col·locarà una electrovàlvula de bola gestionada per un sistema automatitzat. La sortida de l'efluent es farà per gravetat sense la utilització de cap bomba d'impulsió.

S'ha d'introduir al digestor la mateixa quantitat de purins que la que s'extreu. El cabal de sortida, i per tant, el temps d'extracció de l'efluent, es podrà controlar amb la vàlvula de bola.

Tant pel dipòsit d'alimentació del digestor com pel dipòsit d'acumulació de l'efluent s'aprofitaran els dipòsits existents a la granja. Serà necessari, per tant, portar a terme una gestió dels purins per part del propietari.

Agitador

Per tal d'homogeneïtzar la mescla s'ha d'incloure un agitador al digestor. S'ha decidit per posar un agitador mecànic lateral, ja que, degut a la coberta de lona EPDM no és possible posar-ne un d'eix vertical.

L'avantatge principal d'un agitador lateral roman en els corrents que es generen, els quals impedeixen una acumulació elevada dels fangs al fons del digestor. S'ha de tenir en compte el poder corrosiu de certs gasos presents al biogàs (H_2S) i per tant s'ha de portar a terme un tractament anticorrosiu a tots els elements presents a dintre del digestor. La potència que consumirà l'agitador és pot saber a partir del següent ràtio [METCALF&EDDY; Ingeniería de aguas residuales; pag. 938]: Potència dels agitadors mecànics dividida pel volum del reactor (kW/m^3): 0,00475

Si s'agafa el valor mínim (valor més econòmic), es té que la potència serà de:

$$\text{Potència agitador} = 416kW \times 0,00475kW/m^3 = 1,976 \text{ kW}$$

Aquesta potència elèctrica s'haurà de restar a la potència que proporcioni la microturbina , en principi, només funcionarà quan la microturbina estigui engegat, encara que és possible que estigui constantment en funcionament.



Figura 4.3: Agitador mecànic lateral. Font: cercador Internet

4.2. Sistema de canalització

La instal·lació del sistema de canalització necessari per a poder dur a terme el procés de generació de biogàs a través del purí extret d'una explotació porcina no és un procés trivial, ja que s'han de considerar

tots els moviments que realitzaran tant el purí com el biogàs al llarg del procés. A continuació, es descriurà per separat la canalització d'ambdós productes en cada un dels seus trams.

Canalització del purí

Tram 1. Fosses interiors de les naus – Primer dipòsit general

Els animals evacuaran les seves dejeccions a l'interior de les naus i, aquestes cauran, a través de les reixes que formen el terra de les naus, cap a les fosses interiors de l'explotació. Des de allà i a través d'un sistema que ja es troba instal·lat a la granja des d'abans de la planificació d'aquest projecte, el purí es desplaçarà per efectes de la gravetat i a través d'un canal subterrani fins al primer dipòsit general que és el que està cobert per uralita de forma quadrada, situat al centre de l'explotació.

Tram 2. Primer dipòsit general – digestor.

Quan el purí sigui bombejat des del primer dipòsit general fins al digestor, es canalitzarà per un tub de PVC. Suposant un diàmetre interior del tub (d) de 63 mm i considerant un cabal (Q) de 16 m³/hora, es pot calcular la velocitat a la que circularà el fluid a través del tub utilitzant l'equació:

$$Q = c \times A$$

On,

Q= cabal en m³/s

c= velocitat del fluid en m/s

A= àrea interior del tub en m²

Per facilitar el càlcul es canviaran les unitats del cabal:

$$Q = 16 \text{ m}^3/\text{h} = 1 \frac{\text{h}}{3600 \text{ s}} = 4,45 * 10^{-3} \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

Procedint amb el càlcul s'obté:

$$c = \frac{Q}{A} = \frac{4,45 * 10^{-3}}{\pi * \frac{(63 * 10^{-3})^2}{4}} = 1,427 \text{ m/s}$$

Tram 3. Digestor - Segon dipòsit general (Bassa).

Aquest tram serà una tuberia subterrània que sortirà del digestor fins a la bassa de sota les naus. En aquest cas però, s'aprofitarà el desnivell del terreny per a provocar que el purí es desplaci des del digestor fins al dipòsit d'una manera natural. Aquesta circulació de purí es controlarà amb una vàlvula de pas. La Figura 4.3. mostra un esquema d'aquest tram.

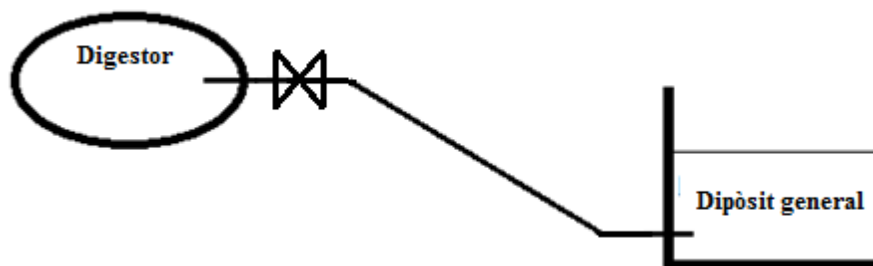


Figura 4.4. Digestor - Segon dipòsit general

Canalització del biogàs

Tram 1. Digestor – Venturi

Quan hi hagi una demanda de biogàs el biogàs serà extret del digestor a través d'un tub de PVC que comunicarà del digestor amb el Venturi.

El Venturi estarà instal·lat a un habitacle pròxim al digestor i serà l'encarregat d'extreure el biogàs del digestor ja que aquest no flueix de forma natural degut a que la pressió de dins del digestor és molt baixa.

El tub pel que s'extraurà el biogàs tindrà un diàmetre interior de 50 mm i una longitud de 8 metres.

Tram 2. Venturi – Microturbina

Si el sistema de combustió que es posa en funcionament és la microturbina, el biogàs es conduirà des de el Venturi fins a la microturbina a través de tubs de PVC. La microturbina estarà instal·lada al mateix compartiment, així que només serà necessaris 2 metres de tub de 25 mm de diàmetre. Al mig del recorregut el biogàs es passarà per un filtre per eliminar les partícules d'aigua que encara pugui contenir el biogàs.

Abans d'entrar a la microturbina el biogàs passarà per un comptador que comptabilitzarà els m³ de biogàs que crema la microturbina.

Tram 3. Venturi – Entorxa

La connexió entre el Venturi i l'entorxa es farà a través d'una vàlvula Bypass. S'utilitzaran tubs de PVC de 25 mm de diàmetre i es necessitarà una longitud total de 2 metres de tub.

4.3. Sistema de combustió entorxa

El sistema de combustió en entorxa és un sistema de combustió auxiliar. No és el sistema de combustió principal pel que ha estat dissenyada la instal·lació, ja que no aporta cap benefici econòmic a l'explotació, sinó que només serveix per a cremar biogàs a l'atmosfera i reduir les males olors del purí abans d'utilitzar-lo

com a fertilitzant. No obstant la seva instal·lació és necessària, ja que serveix per a poder visualitzar la combustió del biogàs a l'aire lliure, amb la qual cosa serveix per a veure si es realitza una combustió "neta". A més, servirà com a sistema de seguretat i d'evacuació del gas en el cas de que el digestor assoleixi la seva capacitat màxima i per a poder mantenir el nivell de biogàs del digestor dins del nivell de seguretat en cassos de no disposició de la caldera, ja sigui per avaria o per estar-hi realitzant funcions de manteniment.



Figura 4.5. Entorxa de la planta

Descripció

Com a sistema de combustió auxiliar s'instal·larà una entorxa amb cremador del tipus gas – aire. Aquest tipus de cremador és un sistema per a cremar biogàs a altes temperatures generant el mínim impacte ambiental possible (alta eliminació de fums). S'instal·larà el cremador dins d'una entorxa de diàmetre i altura adequades que permeti la combustió fins i tot quan bufin vents de fins a 100 km/h.

L'entorxa estarà feta d'acer inoxidable tant en el seu cos interior com l'exterior, i disposarà d'una protecció superior en forma de barret, d'una trampeta d'accés i d'entrades d'aire, juntament amb un ventilador de combustió.

El propi sistema de control de la instal·lació gestiona tot el seu funcionament: posada en marxa, control de la flama, mesures, alarmes en cas d'incidència, etc...

La entorxa està dissenyada per a treballar a la intempèrie i compleix amb totes les normatives per a evitar el risc d'explosió, tant a l'àmbit nacional com respecte a les directives comunitàries que li són d'aplicació (marcat CE), en concret la directiva 93/396/CEE que modifica les 89/366/CEE i 90/396/CEE

A continuació, es detallen (*Taula 4.4*) els diferents models de entorxa disponibles. Les següents entorxes

són automàtiques i amb reencesa automàtica. El número que identifica el model indica la capacitat màxima de biogàs expressada en Nm³/h de gas a una pressió de 50 mm C.A.

Funcionament

Per a posar-se en funcionament el cremador de forma automàtica s'obre l'electrovàlvula que condueix el gas al pilot, i mitjançant la guspira provocada per una bugia s'intenta encendre el gas. Una vegada comprovat que la flama s'ha encès correctament s'obre l'electrovàlvula principal i s'injecta l'aire mitjançant un electro-ventilador previst d'un sistema d'arrencada progressiu fins a adoptar el valor estacionari.

Si l'equip detecta que el cremador no està funcionant (mitjançant el termopar), s'intentarà encendre la flama novament fins a un total de tres vegades (valor modificable per l'usuari, programat inicialment pel fabricant) amb intervals d'un minut. Si s'esgoten tots els intents sense èxit, es tancaran totes les electrovàlvules i s'activarà una alarma lluminosa i sonora.

Si en algun moment es detecta que la flama s'apaga, es tancarà l'entrada del gas residual i s'intentarà tornar a encendre la flama amb el sistema inicial.

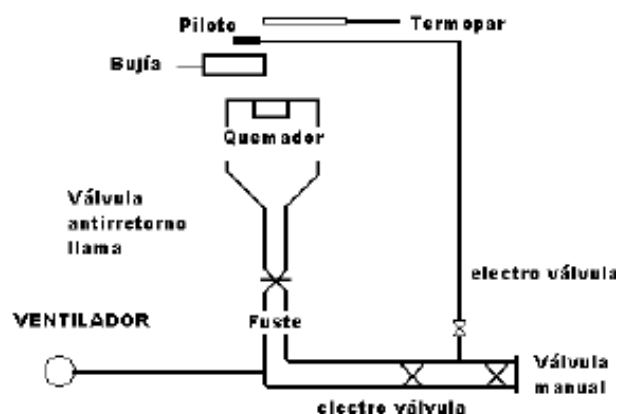


Figura 4.6. Esquema cremador

4.4. Dimensionat sistema de calefacció

El primer pas per a realitzar el dimensionament del sistema de calefacció és saber la quantitat d'energia que serà necessària per a mantenir el purí de l'interior del digester a 35°C durant tot l'any. S'utilitzarà la següent expressió:

$$Q . \text{ necessària} = M * c_e * \Delta T$$

On,

Q_{nec} = Calor necessària en MJ

M = Quantitat de substrat a escalfar en kg

ΔT = Increment de temperatura del substrat en °C

Es considerarà un calor específic del purí igual al de l'aigua (4,185 kJ/kg·°C), ja que és més del 95% de la seva composició. Coneixent que la massa M que s'introdueixen diàriament dins del digestor de purí és de 16.257kg, podem calcular la calor necessària diàriament (Q_{nec}) per a escalfar el purí a 35°C depenent de cada mes.

Per calcular la potència necessària per aconseguir aquestes condicions, suposarem un cicle de 6 hores en el qual el purí estarà circulant per l'interior del bescanviador de calor, i per tant, serà quan sigui possible la transferència de calor.

Per a calcular la potència s'ha utilitzat l'expressió,

$$P = Q_{nec}/t$$

On,

t = temps del substrat exposat a la transmissió tèrmica (6 h)

Prenem com a temperatura interna del digestor, la temperatura ambient fluctuant al llarg de l'any.

No es consideraran pèrdues de calor una vegada el purí sigui dins del digestor, a causa del bon aïllament d'aquest.

Mes	T ^a interior(°C)	ΔT (°C)	Q_{nec} [MJ]	P (kW)
Gener	12,6	22,4	1523,99	70,55
Febrer	13,1	21,9	1489,97	68,98
Març	15,4	19,6	1333,49	61,73
Abril	17,8	17,2	1170,21	54,17
Maig	20,6	14,4	979,711	45,35
Juny	22,3	12,7	864,05	40
Juliol	27,3	7,7	523,87	24,25
Agost	26,8	8,2	557,89	25,82
Setembre	22,4	12,6	857,24	39,68
Octubre	19,2	15,8	1074,96	49,76
Novembre	16,1	18,9	1285,87	59,53
Desembre	13,5	21,5	1462,76	67,72

Taula 4.5. Temperatures mitjanes dins digestor

Bescanviador

Un bescanviador de calor és un aparell emprat per a transmetre calor des de un fluid a un altre que està a una temperatura inferior. En aquest cas, s'utilitzarà un bescanviador de calor per a augmentar la temperatura del purí que hi ha dins del digestor.

El bescanviador de calor estarà instal·lat a una ubicació pròxima a la microturbina (encarregada de generar energia elèctrica i tèrmica a través del biogàs) i estarà connectat permanentment a un circuit primari d'aigua calenta. L'aigua calenta serà el fluid encarregat d'escalfar el purí.

Gràcies a la transmissió de calor existent entre fluids a diferent temperatura, dins del bescanviador de calor s'aconseguirà mantenir el purí a digerir a una temperatura constant de 35°C.

El bescanviador instal·lat serà un bescanviador amb plaques de titani dissenyat per a dipòsits de fins a 500m³ i amb una potència màxima del circuit primari de 240 KW. El bescanviador en concret serà de la marca Zodiac Uranus plus 240, la fotografia del bescanviador es pot veure a la Figura 4.6.



Figura 4.6. Bescanviador de calor

4.5. Microturbina

La microturbina és l'aparell encarregat de, a través del biogàs generat a l'interior del digestor, de generar energia elèctrica i tèrmica, energia elèctrica per a l'autoconsum de l'explotació i per vendre a la xarxa elèctrica i així obtenir un benefici econòmic de la instal·lació. La energia tèrmica s'utilitzarà per aconseguir una temperatura de 35°C dins al digestor.

Descripció

Las turbines per la generació d'energia, consten habitualment d'un compressor d'aire de varies etapes, una

càmera de combustió i varies etapes de turbina en les que s'absorbeix tota l'energia dels gasos d'escapament. El compressor incorporat a la microturbina s'utilitza perquè les turbines necessiten treballar a pressions de 5 o 6 bars.

El moviment de las turbines de generació (usat habitualment en centrals de cogeneració) està entre las 15.000 i las 20.000 revolucions. Per poder realitzar l'acoblament a un generador, s'utilitza un reductor mecànic que ajusta la velocitat a unes 1.500 rpm.

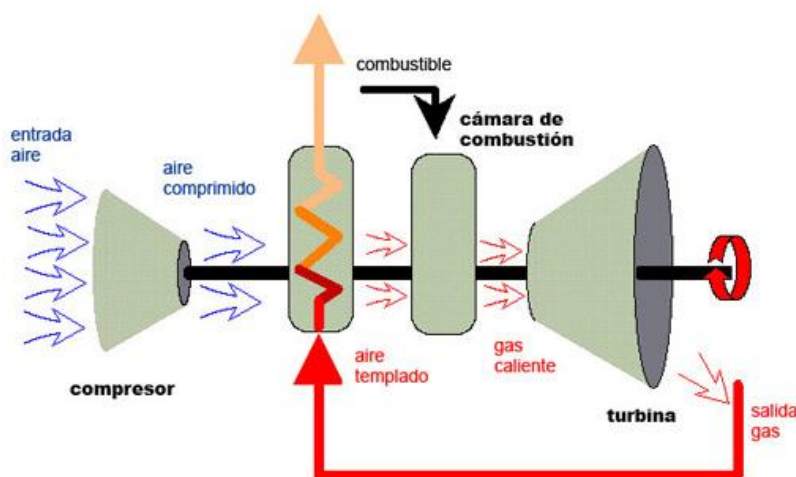


Figura 4.7. Cicle regeneratiu d'una microturbina

Les Microturbines simplifiquen tots aquets elements quedant únicament una peça mòbil en tota la màquina. Aquesta peça mòbil conté la única etapa de compressor, la única etapa de turbina i l'eix de l'alternador. El conjunt gira sobre uns coixinets d'aire que permeten arribar a les 96.000 rpm. Per poder adaptar la corrent generada a una corrent alterna de 50 Hz útil, s'utilitza electrònica de potència. Es genera corrent alterna a freqüència variable, es converteix a corrent continu i, mitjançant un inversor, es torna a convertir en corrent alterna. D'aquesta manera, el moviment de la màquina es independent de la freqüència de la xarxa i, podem dir que la màquina està permanentment sincronitzada. Aquesta sincronització permanent o aquest acoblament per inversor, facilita la connexió de les microturbines tant a les xarxa de baixa tensió dels centres consumidors com als quadres de connexió a la xarxa. No es necessari cap element entremig, la microturbina connecta directament i sincronitza al connectar-la a un quadre de baixa tensió. A la figura 4.8 s'observa l'eix de una microturbina a on es pot veure la turbina de la combustió i la del compressor de l'entrada del biogàs.



Figura 4.8. Única part mòbil d'una microturbina Capstone

La figura 4.9. correspon al del model proposat a la instal·lació de la planta de biogàs on es pot veure les diferents parts de la microturbina on destaca l'alternador, el compressor, el coixinet d'aire per les elevades velocitats on gira l'eix, i la cambra de combustió amb la seva turbina.

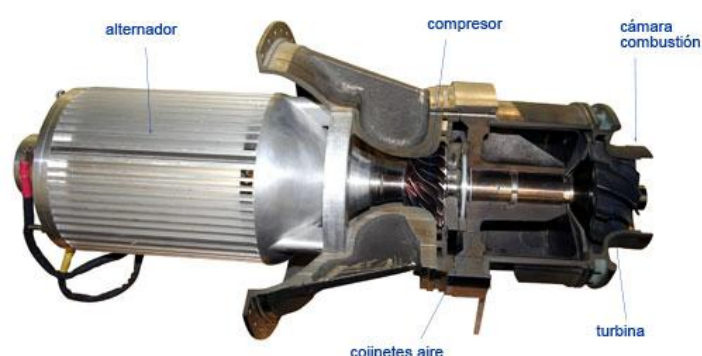


Figura 4.9. Secció d'una microturbina Capstone C65

En l'inversor, les microturbines ja disposen de les proteccions elèctriques de baixa tensió i el fet que la màquina pot girar a diferents revolucions sense perdre el sincronisme, fa la connexió molt senzilla i fiable. Les microturbines són en realitat sistemes de cogeneració adequats per a petites potències (entre 20 i 200 kW) que poden utilitzar el biogàs directament com a combustible.

Les microturbines presenten alguns avantatges respecte els motors de cogeneració que les fan fer molt interessants, per exemple, poden treballar amb biogàs que tingui un contingut menor de metà (35%), presenten una major tolerància al sulfur d'hidrogen (H_2S), són menys contaminants i tenen un manteniment més senzill que els motors de cogeneració (cada 8.000 hores).

Les microturbines donen tota la calor residual en forma de gasos, amb la qual cosa és més fàcil d'aprofitar que en els motors de cogeneració, on es separa entre aigua i gasos. Per contra, el seu rendiment elèctric és menor que en els motors de cogeneració i es situa al voltant del 30%.

Un altre avantatge d'aquest tipus de turbines és que la freqüència a la sortida sempre es manté a 50 Hz

independentment del seu rang de funcionament, fet que fa que la turbina estigui permanentment sincronitzada amb la xarxa elèctrica. A la figura 4.10. es pot veure el model concret a la instal·lació on incorpora el circuit per escalfar l'aigua per la calefacció del digestor i així aprofitar tota la l'energia que ens dona el biogàs. Aquesta energia tèrmica pot tenir rendiment del 53% en aquest model concret.



Figura 4.10. Microturbina Capstone C65 iCHP

Dimensionament

Per a dimensionar la microturbina s'ha de calcular la potència elèctrica i tèrmica de la instal·lació. Tenint en compte que els rendiments elèctrics i tèrmics de les microturbines són aproximadament del 30 i del 50% respectivament. S'utilitzaran aquestes dades per a dimensionar la microturbina.

Considerant que la capacitat calorífica del biogàs és de 6,8 kWh/m³ i que la productivitat de biogàs de la instal·lació és de 350 m³ de biogàs/dia, es calcularà la potència de la instal·lació com,

$$Potència\ elèctrica = 350\ m^3 \times \frac{6.8\ kWh}{24\ m^3} \times 0.3 = 29,75\ kW$$

$$Potència\ tèrmica = 350\ m^3 \times \frac{6.8\ kWh}{24\ m^3} \times 0.5 = 49,58\ kW$$

S'ha considerat en els dos cassos un temps de funcionament de 24 hores.

Una vegada calculades les potències tèrmica i elèctrica de la instal·lació es decideix instal·lar una **microturbina Capstone de 65 kW de potència**. A la Figura 4.11. se'n poden veure les seves característiques

Capstone	C65 / C65 iCHP / CR65		
Prestaciones eléctricas			
Potencia neta	65 kW		
Tensión	400 a 480 VAC		
Tipo	Trifásico		
Frecuencia	50 / 60 Hz		
conectada a la red	10 – 60 Hz		
modo aislado			
Corriente máxima de salida	100A		
conectada a la red	127A		
modo aislado			
Rendimiento eléctrico (PCI)	29%		
Características de la turbina: gas natural			
Gas natural (PCS)	8,5 a 13,18 kWh/Nm³		
Presión de entrada	5,17 barg		
Consumo de combustible PCI	224 kW		
Características de la turbina: biogás ⁽¹⁾			
Tipo de biogás	vertedero	digestión	
Biogás PCS	3,6 a 6,2 kWh/Nm³	5,7 a 9 kWh/Nm³	
Contenido H ₂ S	< 5.000 ppmv		
Presión de entrada	5,2 barg		
Consumo de combustible PCI	224 kW		
Emisiones			
NOx @ 15% O ₂ (gas natural)	< 5 ppmvd		
Caudal gases de escape	0,49 kg/s		
Temperatura salida gases	309°C		
Dimensiones y peso			
Ancho x profundo x alto (mm)	762 x 1.956 x 2.108	ICHP 762 x 1.956 x 2.388	
Peso- Modelo para conexión a red	758 kg	1.000 kg	
Peso - Modelo para funcionamiento dual	1.121 kg	1.364 kg	
Recuperación de calor			
Tipo módulo de recuperación		Cobre	Acero inox.
Calor recuperado en agua caliente		120 kW	74 kW
Rendimiento global PCI		82%	62%

Figura 4.11. Característiques de la microturbina

4.6. Sistema d'extracció del biogàs

Un cop es posa en marxa el mecanisme d'extracció, ja sigui per a qualsevol dels dos motius comentats anteriorment, el biogàs serà canalitzat cap al corresponent equip de combustió. Per a poder-lo extreure del digestor la instal·lació disposarà d'un Venturi que s'encarregarà d'aspirar el biogàs de dins del digestor. És necessari utilitzar un Venturi perquè el biogàs està a una pressió molt baixa dins el digestor, i per aquest motiu no és possible extreure'l de forma natural a través d'un sistema de vàlvula.

El venturi instal·lat es mostra a la figura 4.12.



Figura 4.12. Venturi

Tractament del biogàs previ a la combustió

Una vegada el biogàs és extret a través del Venturi és conduït fins a l'equip de combustió adequat. No obstant, abans de portar-se a terme la combustió el biogàs es passarà per a un filtre que s'encarregarà d'eliminar les possibles impureses que pugui tenir el gas en forma de petites partícules d'aigua. Aquest pas és de vital importància per aconseguir una combustió neta i pel bon funcionament dels equips.

A la Figura 4.13 es mostra el filtre pel que passa el biogàs abans d'arribar als equips de combustió.



Figura 4.13. Filtre metàl·lic

5.0. Estudi energètic

Per a realitzar el balanç energètic de la instal·lació, calcularem les quantitats d'energia elèctrica i tèrmica que és capaç de generar la instal·lació, així com les despeses energètiques que es tenen.

Energia generada i potència de la instal·lació

En la següent taula, mostrem les quantitats d'energia elèctrica i tèrmica que obtindrem de la microturbina instal·lada, tenint en compte el seu rendiment i al seva potència.

DADES GENERALS	
Producció de biogàs	350 m3/dia
Capacitat calorífica del bio-gàs	6,8 kWh/m3
ENERGIA ELÈCTRICA	
Rendiment elèctric	29 %
Energia elèctrica diària	712 kWh/dia
Dies de funcionament anual	330 dies
Energia elèctrica anual	234.960 kWh/any
Temps de funcionament diari	24 hores
Potència elèctrica	29,7 kW
ENERGIA TÈRMICA	
Rendiment tèrmic	53 %
Energia tèrmica diària	1.189 kWh/dia
Dies de funcionament anual	330 dies
Energia tèrmica anual	392.370 kWh/any
Temps de funcionament diari	24 hores
Potència tèrmica	49,58 kW

Taula 5.1. Energies i potències generades a la instal·lació

Despeses energètiques de la instal·lació

A continuació, es calcularan les despeses energètiques d'electricitat per a poder determinar la part d'energia que es podrem vendre a la xarxa elèctrica.

Despesa	Potència (kW)	temps de funcionament (h)	Energia necessària (kWh)
Consum de l'explotació	-	-	50
Bomba dipòsit general	1,5	0,5	0,75
Agitador	1,976	1	1,976
Bomba bescanviador	0,735	6,0	4,41
Consum diari		57,136 kWh	

Taula 5.2. Consum elèctric diari

Balanç energètic

Un cop calculada l'energia generada i requerida pel funcionament de la instal·lació es determinarà el balanç energètic total per determinar la quantitat d'energia que es genera a l'explotació i que no és utilitzada, i que per tant, pot ser venuda a la xarxa elèctrica. El càlcul es farà anual i considerant que el temps de funcionament de la instal·lació és de 330 dies l'any.

ENERGIA GENERADA	
Energia elèctrica	234.960 kWh/any
Energia tèrmica	392.370 kWh/any
ENERGIA CONSUMIDA	
Energia elèctrica	18.854,88 kWh/any
Energia tèrmica	-

BALANÇ ENERGÈTIC	
Energia elèctrica	216.105,12 kWh/any
Energia tèrmica	392.370 kWh/any

Taula 5.3. Balanç energètic

Se suposarà que el balanç tèrmic positiu generat es suficient per proveir la instal·lació

Pel que fa al balanç elèctric, podrem vendre's l'excident a la xarxa elèctrica per aconseguir un benefici econòmic. La present instal·lació vendrà a la xarxa elèctrica 216.105,12 kWh al any.

6.0. Estudi econòmic de la planta

En aquest apartat donarem la dimensió econòmica de la planta, és a dir, les despeses, els beneficis, les inversions. També es farà el càlcul de l'amortització del projecte.

Pressupost de la instal·lació

Per a la construcció de plantes del sector del biogàs és necessari fer unes grans inversions i l'amortització resulta ser alta. Això es deu, principalment, a les poques ajudes i incentius que es donen per a la realització d'aquestes instal·lacions.

A continuació mostrem un pressupost aproximat inicial de la planta juntament amb el número d'unitats necessàries.

PRESSUPOST			
Producte	Quantitat	Preu unitari (€)	Preu (€)
Agitador mecànic lateral	1	1.600€	1.600€
Bomba centrífuga 1 CV	3	300€	900€
Digestor	1	15.000€	15.000€
Aïllant tèrmic	80m ²	16€/m ²	1.280€
Entorxa A-50	1	7.500€	7.500€
Microturbina Capstone C65	1	82.500€	82.500€
Sistema de canalització	1	-	650€
Filtre d'humitat	1	50€	50€

Electrovàlvula	6	120€	720€
Vàlvula de comporta	5	45€	225€
Venturi	1	44€	44€
Bescanviador de calor	1	2.200€	2.200€
Compressor de gas	1	930€	930€
Infraestructures construïdes	1	2.000€	7.340€
Mà d'obra	-	-	6.500€
	SUBTOTAL		121.899€
	18% IVA		21.941,82€
TOTAL			149.180,82 €

Taula 6.1. Pressupost

Així doncs, haurem d'invertir 149.180,82 euros inicialment en la construcció de la planta.

6.1. Estalvi energètic

A continuació calcularem l'estalvi econòmic que representa per a l'explotació no haver de comprar energia elèctrica a empreses externes i poder satisfer la seva demanda energètica amb part de l'energia generada a la pròpia explotació.

Tipus d'energia	Consum anual	Preu	Estalvi anual
Energia elèctrica	18854,88 kWh	0,1421 €/kWh	2.679,27 €

Taula 6.2. Estalvi energètic

Estalvi d'emissions de gas efecte hivernacle

A continuació calcularem les tones CO2 equivalents que corresponen al metà produït en la instal·lació.

Tenim una Producció de biogàs anual de:

$$350 \text{ m}^3/\text{dia biogàs} * 365 \text{ dies/any} = 127.750 \text{ m}^3/\text{any biogàs}$$

Considerarem que el 60% del biogàs corresponent a metà (CH₄). Això ens dóna una quantitat de metà de

76.650 m³ de metà.

Per fer el càlcul de tones equivalents de CO₂ que equival aquest volum de metà, prenem com a referència el Protocol Kyoto, on s'estableix que 1 Tona de metà equival a 21 tones de CO₂.

Així doncs, obtenim que 76.650 m³ de metà equival a 965,7 tones de CO₂.

Segons el Pla d'Energies Renovables 2005-2010, estableix un preu de 20€ per Tona de CO₂. Prendrem com a referència aquest valor, ja que no s'ha establert un preu posterior al 2010.

$$965,7 \text{ Tones de CO}_2 * 20\text{€/tona de CO}_2 = 19.315,18 \text{ €}$$

Subvencions i ajuts

La Generalitat de Catalunya, dins del Pla de biodigestió de purins, estableix ajuts per al foment d'infraestructures de biodigestió de porcs (ORDRE AAM/207/2011, DOGC núm. 5955). Entre les premisses, el municipi ha de constar com a zona vulnerable i d'alta concentració ramadera. Tot i pertànyer a la comarca d'Osona, Santa Eulàlia de Riuprimer no consta com a municipi d'alta concentració ramadera, així doncs no comptarem amb aquesta línia d'ajuts.

L'Institut Català d'Energia de la Generalitat de Catalunya va aprovar en el 2011 un paquet de subvencions per les energies renovables. En concret, per instal·lacions de producció i aprofitament energètic del biogàs generat a partir del procés biològic de la digestió anaeròbia., la subvenció podia arribar a un 30% del cost subvencionable. La potència elèctrica de la instal·lació havia de ser inferior a 500 kW.

Com a cost subvencionable, es considerava una inversió màxima per unitat de potència instal·lada de 3.500€/kW. En cas que l'aprofitament fos tèrmic el cost subvencionable era de 1.100 €/kW. Si es tractava d'una cogeneració es considerava un cost subvencionable de 4.000 €/kW.

Degut a la publicació del RD –Llei 1/2012 del 27 de Gener, on queden suspesos els incentius econòmics per noves instal·lacions de producció d'energia elèctrica a partir de cogeneració i fonts d'energies renovables, prendrem com a referència la subvenció anteriorment citada per poder calcular la viabilitat de la planta.

Considerant una potència instal·lada de 65 kW, el cost subvencionable d'intensitat màxima seria:

$$\text{cost subvencionable: } (65) * 4000 = 260.000 \text{ EUROS}$$

$$30\% \text{ del cost subvencionable: } \mathbf{78.000 \text{ EUROS}}$$

Balanç econòmic

En aquest apartat passarem a estudiar tant el balanç global dels costos i els beneficis generats, com l'estudi dels temps d'amortització en anys de la instal·lació.

A la taula següent es mostra el balanç econòmic de la instal·lació. Hem considerant tant les despeses com els ingressos del primer any.

Hem considerat unes despeses de manteniment del 2,5% de la Inversió inicial de la instal·lació.

COSTOS		
Inversió inicial	-	149.180,82 €
Manteniment	2,5 % inv. Inicial	3.729,52 €
BENEFICIS		
Subvenció	30% cost subvencionable	78.000 €
Estalvi energètic	-	2.679,27 €
Venda a la xarxa	0,1450 €/kWh	31.335,24 €
Venda CO2	20€/t CO2	9.657,5 €

Taula 6.3. Balanç econòmic

Per poder obtenir el temps d'amortització de l' instal·lació, haurem de tenir en compte l'evolució dels preus de l'energia, així com l'augment dels costos de manteniment. Considerarem que els costos de manteniment augmentaran un 2,5% cada any. Pel que fa als preus de venda i compra d'energia elèctrica, com del preu de la tona de CO₂, estimarem un 3% d'augment anual.

Fetes doncs totes aquestes consideracions, mostrem els resultats obtinguts tenint en compte si disposem o no de subvenció:

AMORTITZACIÓ	
2012	-99.580,05 €
2013	-98.073,40 €
2014	-96.521,09 €
2015	-94.921,73 €
2016	-93.273,90 €
2017	-91.576,14 €
2018	-89.826,92 €
2019	-88.024,71 €
2020	-86.167,88 €
2021	-84.254,80 €
2022	-82.283,75 €
2023	-80.253,00 €
2024	-78.160,72 €
2025	-76.005,06 €
2026	-73.784,11 €

6.4. Taula d'amortització sense subvenció

Sense cap mena d'incentiu econòmic, veiem que realment no es viable la construcció de la planta ja que es trigaria molts anys en amortitzar-la.

Si tenim en compte la subvenció, els resultats son més optimistes i podem arribar a amortitzar la planta en 14 anys.

AMORTITZACIÓ	
2012	-21.580,05 €
2013	-20.073,40 €
2014	-18.521,09 €
2015	-16.921,73 €
2016	-15.273,90 €
2017	-13.576,14 €

2018	-11.826,92 €
2019	-10.024,71 €
2020	-8.167,88 €
2021	-6.254,80 €
2022	-4.283,75 €
2023	-2.253,00 €
2024	-160,72 €
2025	1.994,94 €
2026	4.215,89 €

6.5. Taula d'amortització amb subvenció

Mecanismes per fer viable la planta

No s'han contemplat els possibles beneficis provinents de la venda de la matèria digerida com a fertilitzant, o bé la barreja de purins amb altres substàncies, com per exemple Glicerina, que proporcionariem una quantitat de biogàs més gran.

A continuació mostrem els resultats obtinguts considerant la venda de fertilitzants, en el cas que també disposéssim de subvenció. En el cas pitjor, en que no tenim subvenció, ja no hem contemplat el cas de la venda, ja que no aporta un valor molt alt per poder amortitzar la instal·lació.

Estimant un volum de 5000 m3 de fertilitzants a un preu de 1,85 €/m3, i un augment de 2,5% en el preu de venda, s'obté:

2012	-12.098,80 €
2013	-10.355,12 €
2014	-8.559,85 €
2015	-6.711,46 €
2016	-4.808,38 €
2017	-2.848,97 €
2018	-831,58 €
2019	1.245,52 €
2020	3.384,10 €

2021	5.585,98 €
2022	7.853,05 €
2023	10.187,23 €
2024	12.590,51 €
2025	15.064,95 €
2026	17.612,65 €

6.6. Taula d'amortització

Així doncs, en un període de 8 anys la instal·lació comença a ser rentable si es donés sortida comercial als fertilitzants. Agafem el preu orientatiu segons GesFer (Consorci de gestió de la fertilització agrària de Catalunya).

Conclusió de l'estudi econòmic

Bàsicament la conclusió que se'n pot treure del estudi econòmic de la instal·lació es que sense incentius econòmics no es viable la instal·lació d'una planta de biogàs, i menys actualment, en el context de crisis que es viu i amb el nou marc que ha donat la publicació del RD Llei 1/2012 on se suspenen les ajudes per noves instal·lacions de producció d'electricitat a partir de fonts renovables. S'haurà d'esperar en un futur, on es torni a incentivar la producció d'energia neta, d'energia provinent de fonts renovables i també a un avenç en la tecnologia que porti a un abaratiment dels costos.

7.0. Avaluació de l'impacte ambiental

Aquest apartat està destinat a l'estudi dels possibles impactes cap al medi ambient que es poden produir a causa de la construcció de la planta. El seu estudi és vital per poder tirar endavant el projecte i per poder superar amb èxit els informes d'avaluació ambiental portats a terme pel departament de medi ambient i habitatge de la generalitat de Catalunya.

Sòl

El condicionament de la superfície per a la ubicació de les instal·lacions de la planta de tractament de purins comporta una alteració de la morfologia del terreny. Això significa la pèrdua de sòl agrícola, principalment durant la construcció de la instal·lació.

Les terres de l'excavació serviran per l'anivella't del terreny d'algunes àrees de les instal·lacions sempre que

els estudis previs de compactació ho permetin. En el cas que els materials no siguin aptes per a l'obra constructiva es conduiran a un dipòsit controlat de terres i runes.

Elements hidrològics

En aquest apartat es fa referència a l'afectació que es pot produir sobre els fluxos d'aigua de la zona, principalment l'efecte que pot produir la instal·lació sobre les aigües d'escolament superficial, per la barrera física que suposa la instal·lació en la variació de la xarxa natural de drenatge.

La ubicació de la planta de tractament no interceptaria cap línia de circulació superficial d'aigua, per tant, no es preveu la necessitat de prendre cap mesura correctora en relació a l'afectació d'elements hidrològics.

Elements atmosfèrics

En aquest apartat es tracta l'afectació de l'atmosfera durant la fase de projecte i, posteriorment, durant la fase d'exploació. Es destaca el perill d'afectació per la pols que es pugui aixecar degut al trànsit de vehicles i el transport de terres durant la fase de construcció. Aquest aspecte queda limitat per la bona pràctica que suposa el regatge de superfícies susceptibles a produir polseguera.

També cal considerar l'increment d'emissions de gasos de combustió de motors alternatius com a conseqüència de les operacions amb maquinària durant la fase de construcció.

Durant l'etapa de funcionament de la planta de tractament hi haurà una quantitat d'emissions de gasos a efecte hivernacle degut als fums d'escapament dels motors de combustió interna. No obstant, aquestes emissions provenen de la combustió de la biomassa i representen un balanç neutre d'emissions a l'atmosfera. La raó d'aquesta neutralitat prové de la mateixa definició de biomassa: *matèria orgànica que prové directa o indirectament del procés de la fotosíntesi*. En conseqüència, la quantitat de CO₂ que es llença a l'atmosfera es considera que és la mateixa que la planta va absorbir per portar a terme el procés de la fotosíntesi.

Elements paisatgístics

En aquest apartat es tracta l'impacte visual que produirà la implantació de les instal·lacions, en quan a canvis visuals de la zona apreciable des dels nuclis habitats i vies de comunicació propers.

Cal tenir en compte que la granja objecte d'estudi queda força allunyada dels nuclis habitats, així com de les vies de comunicació amb més trànsit. Només és visible des d'un camí sense asfaltar utilitzat per accedir tant a la granja com als conreus dels voltants. No obstant, s'ha previst pintar el digestor de verd per minimitzar l'impacte visual.

Sorolls

Fa referència a l'increment d'emissions acústiques com a conseqüència de les operacions amb maquinària durant la fase de construcció i la fase de funcionament.

Amb la finalitat de reduir els sorolls produïts per la maquinària, durant l'execució de les obres, es limitaran els treballs a la franja horària diürna. Pel que fa als sorolls produïts pel funcionament normal de la planta, s'ha previst incloure un sistema d'insonorització al recinte del grup cogenerador. No obstant, s'efectuaran mesures de control per comprovar que els valors s'ajustin als contemplats en les ordenances de soroll. Els altres elements de la instal·lació no produiran una taxa de sonoritat molt elevada.

Fauna i vegetació

Pel que fa a la fauna i la vegetació de la zona no suposarà cap impacte, ja que la instal·lació estarà situada a un lloc a on, actualment, no hi existeix cap tipus de flora, ni de fauna autòctona.

Bestiar porcí

Aquest apartat fa referència a l'impacte que pot existir cap al bestiar porcí durant la fase de construcció, així com durant la fase d'explotació.

El soroll és l'únic element que pot pertorbar la tranquil·litat dels animals i produir un cert desequilibri durant el seu cicle de vida. No obstant, aquests sorolls només es produiran a la fase de construcció de la instal·lació, la qual es desenvoluparà gaire bé en cinc mesos. Així doncs, durant la fase d'explotació no sembla haver-hi cap element que pugui pertorbar la pau del bestiar.

Creació de llocs de treball i ordenació del territori

L'abandonament del camp ha estat una constatació en les darreres dècades donant lloc a un descens de la producció econòmica i la creació de llocs de treball a aquestes zones. La necessitat d'una adequada gestió forestal i la producció d'una sèrie de cultius econòmics de les zones. Com a conseqüència tant de la plantació de vegetació com de la seva gestió impliquen un increment de la demanda de feina a les zones rurals.

La instal·lació de centrals de generació d'energia utilitzant biomassa o biogàs comporta una demanda de llocs de treball així com l'activació d'un sector de forma més indirecta.

8.0 Conclusions

Els objectius que es van proposar en aquest projecte s'han complert en la majoria dels casos, s'ha aconseguit una font d'energia elèctrica en el món rural aprofitant els residus de la pròpia granja, produint biogàs a través de la tècnica de la digestió anaeròbica amb un previ tractament d'aquest biogàs, a través de un grup de cogeneració s'ha pogut fer la obtenció d'energia elèctrica i tèrmica per ser aprofitada per la pròpia explotació o la seva possible venda d'electricitat si es el cas.

En la explotació es redueixen les males olors dels purins en el tractament d'aquets, tenim una reducció important de emissions d'efecte hivernacle provocat pel metà dels purins a més de la protecció del subsòl en evitar que aquets purins vagin directament als conreus. Així millorem les qualitats del residus com a fertilitzant eliminant les substàncies nocives pel medi ambient. També tenim un benefici econòmic en la venda de fertilitzants o en la pròpia utilització d'aquets.

Obtenim un benefici econòmic en la venda de l'electricitat ja que tota la l'energia produïda no s'utilitza en la explotació, tot i que perquè sigui rentable la instal·lació és necessari tenir finançament amb subvencions de la Generalitat o el Govern central, cosa que per aquest any 2012 s'han suprimir degut a la crisi actual del país.

- L'energia que podem extreure del biogàs és una energia enormement valuosa per a la seva condició de font renovable. A partir d'uns residus, en aquets cas ramaders, en podem extreure energia elèctrica i tèrmica apta per l'autoconsum o per comercialitzar-la en el cas de l'energia elèctrica.
- El procés de digestió anaeròbica és un procés prou eficient per a extreure biogàs, no obstant el seu rendiment està fortament lligat a les condicions internes del digestor, sobretot pel que fa a la temperatura. Ens caldrà un bon aïllament i aportació de calor per millorar el seu rendiment.
- Quan més grans són les explotacions ramaderes més rentable serà la instal·lació de biogàs i menors seran els temps d'amortització.
- Una predicció exacte del metà que produirà la instal·lació és molt difícil de realitzar per la sensibilitat que tenen les bactèries que intervenen el procés

- En el context actual de crisis, no es una bona opció emprendre una instal·lació de biogàs per manca de subvencions i incentius en el camp de les energies renovables.

Bibliografia de consulta

- [1] Espai web de la Generalitat de Catalunya. <http://gencat.cat>
- [2] FLOTATS, X. *La digestió anaeròbia com alternativa de tractament o com procés previ al procés de compostatge*. Lleida: Departament de Medi Ambient i Ciències del Sòl. Laboratori d'Enginyeria Ambiental, 2000
- [3] Microturbines capstone. <http://capstoneturbine.com>
- [4] Fabricant d'entorxes de biogàs Emison. <http://emison.com>
- [5] METCALF&EDDY; *Ingeniería de aguas residuales*; pag. 938
- [6] Guia dels tractaments de les dejeccions ramaderes
- [7] Subvencions al sector de biogàs .<http://www.icaen.es>
- [8] Estudi preliminar de l'empresa Electrigaz <http://www.electrigaz.com>
- [9] Fabricant bombes Ebara <http://www.ebara.es/proapli.htm>
- [10] Lona EPDM <http://www.firestonebpe.com>
- [11] Aïllaments tèrmics <http://www.isover.net>

Altres pàgines web consultades

Informació sobre la tecnologia del sector del biogàs:

www.re-energy.ca

www.habmigern2003.info/biogas/methane-digester.html

www.guascor.com/caste/pdf/vert-depu.pdf

Empreses del sector del biogàs:

www.selco.net

www.otsi.es/

www.re-energy.ca

TRIBUNAL

PRESIDENT	SECRETARI	VOCAL
Jose Antonio Sanchez Lopez	Aracadi Pejuan Alcobe	Balduino Blanqué Molina

DATA DE LECTURA: 4 de Juliol de 2012